



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES EAUX ET FORETS



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Sciences Agronomiques
Option Eaux-Forêts

INFLUENCE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LA PHENOLOGIE DE LA FORET DE LA RESERVE SPECIALE DE BEZA MAHAFALY

Présenté par : RASAMIMANANA Notahinjanahary
Promotion : VONA
Année : 2006-2011

Soutenu le : 28 septembre 2011

Devant le jury composé de :

Président : Monsieur RAMAMONJISOA Bruno, Professeur
Tuteur: Monsieur RATSIRARSON Joelisoa, Professeur
Examineurs : Monsieur ROGER Edmond, Docteur
Monsieur RANAIVONASY Jeannin



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES EAUX ET FORETS



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Sciences Agronomiques
Option Eaux-Forêts

INFLUENCE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LA PHENOLOGIE DE LA FORET DE LA RESERVE SPECIALE DE BEZA MAHAFALY



Présenté par : RASAMIMANANA Notahinjanahary
Promotion : VONA
Année : 2006-2011

Soutenu le : 28 septembre 2011

Devant le jury composé de :

Président : Monsieur RAMAMONJISOA Bruno, Professeur
Tuteur: Monsieur RATSIRARSON Joelisoa, Professeur
Examineurs : Monsieur ROGER Edmond, Docteur
Monsieur RANAIVONASY Jeannin

Photos de la page de garde

A gauche, en haut : *Pachypodium geayi*

A gauche, en bas : *Euphorbia tirucalii*

A droite, en haut : *Commiphora brevicalyx*

A droite, en bas : *Allaudia procera*

*§Car le Dieu tout-
puissant a fait pour
moi de grandes choses;
saint est son nom§*

REMERCIEMENTS

Louange à Dieu, Seigneur de l'univers, le tout puissant qui m'a inspiré et comblé de bienfaits. Je Vous rends grâce.

L'occasion m'est ici offerte d'adresser mes sincères remerciements aux nombreuses personnes qui m'ont prêté leurs précieux concours pour élaborer et parachever ce mémoire, tout particulièrement à:

- **Professeur RAMAMONJISOA Bruno**, Chef de Département des Eaux et Forêts à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA). Malgré vos multiples occupations, vous avez accepté de présider ce mémoire de fin d'étude. Veuillez trouver ici l'assurance de notre profonde considération.
- **Professeur RATSIRARSON Joelisoa**, Chef de la Division Ecologie et Biodiversité de l'ESSA/Forêts, notre tuteur. Puisse se développer entre nous une forme de collaboration. Nous vous exprimons toute notre admiration devant la somme de votre savoir. Vos instructions nous ont été d'une grande nécessité. Soyez assurée de notre profonde gratitude.
- **Docteur ROGER Edmond**, Maître de Conférence au sein de l'Université d'Antananarivo- Faculté des Sciences, Département Biologie et Ecologie Végétales qui, malgré ses multiples obligations a bien voulu siéger parmi les membres du jury. Trouvez ici la marque de ma reconnaissance pour votre contribution.
- **Monsieur RANAIVONASY Jeannin**, Coordinateur du Projet au sein de la Division Ecologie et Biodiversité de l'ESSA/Forêts qui, malgré ses occupations a bien voulu nous écouter, nous conseiller et accepter d'évaluer ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de nos remerciements les plus chaleureux.
- **Madame ALISON Richard**, qui n'a pas ménagé son temps pour les éclaircissements en se donnant à fond pour l'amélioration de ce travail.
- Toute l'équipe de la Division Ecologie et Biodiversité de l'ESSA/Forêts, soyez assurée de notre profond respect.

Nos remerciements vont également à :

- La Fondation Liz Claiborne/Art Ortenberg pour ses appuis financiers ;
- Tous les professeurs et à tout le personnel de l'ESSA particulièrement à ceux du Département des Eaux et Forêts pour leur aide et leur formation très précieuse ;
- Monsieur **RANDRIANANDRASANA Andry**, Chef de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly pour votre conseil ;
- Monsieur **RAZAFINDRAIBE Miandrisoa**, Chef de Volet Recherche de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly qui a chapeauté nos travaux sur terrain ;
- Monsieur **ELAHAVELO**, et tout le personnel de la Réserve Spéciale, qui malgré leurs nombreuses occupations ont accepté de nous assister sur le terrain ;
- Tous les élèves de la promotion **VONA** surtout **VONA – Eaux et forêts**.
- **Ma mère et mon frère** qui sont mes plus proches, merci pour toutes les suggestions positives que vous m'avez données, elles ont eu des valeurs précieuses à mon égard.

Je présente toutes mes excuses à tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, m'ont apporté une quelconque assistance et que je n'ai pas pu citer.

Tahiana

RESUME

A partir des données recueillies auprès du service météorologique Ampandrianomby et au site de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly, une analyse de la variabilité climatique a été effectuée sur la période 1929-1995 et 1999- mars 2011. La variabilité s'exprime par cinq périodes extrêmes : la sécheresse aigue en 1936-1937 et en 1991-1992 et l'excès d'eau durant la saison humide des années 1953-1954, 2004-2005 et 2010-2011. Le régime pluviométrique est caractérisé par une alternance de déficit et d'excédent pluviométrique. Cependant, les séries pluviométriques restent stationnaires. La tendance de la température moyenne durant la dernière décennie s'oriente vers un refroidissement significatif.

La phénologie de la forêt galerie et de la forêt xérophytique de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly a été décrite. Un transect longeant de 1000 m a été installé, par le projet, dans chaque formation forestière pour mener les observations phénologiques. Trois cent sept (307) arbres appartenant à 26 espèces et 15 familles ont été suivis tous les quinze (15) jours de janvier 2005-mars 2011. Les feuilles, fleurs et fruits de ces arbres ont été observés. Les relations entre la phénophase et la température/précipitations ont été analysées en utilisant du test de corrélation. L'apparition des feuilles est liée significativement avec l'augmentation des précipitations ou celle de la température. Les précipitations et la température n'ont pas eu d'influence significative sur la floraison. Le pic de fructification a eu lieu deux fois par an : octobre/janvier pour la forêt galerie et novembre/février pour la forêt xérophytique. Les fruits sont abondants quand la température augmente mais toujours après une bonne pluie. Dans la forêt xérophytique, les fruits augmentent significativement quand la pluie est abondante.

Aussi, le déficit pluviométrique aurait pour effet la diminution de la production de biomasse foliaire dans la zone d'étude. Cette diminution constituerait un problème dans la mesure où les feuilles sont des organes spécialisés dans la photosynthèse et que cette dernière est à la base de l'autotrophie des plantes. Elle pourrait alors compromettre la survie des plantes elles même et risquer celle des espèces utilisant de la feuille comme nourriture. Le problème lié à l'excès d'eau n'a pas pu être envisagé dans cette étude. Mais, l'humidité extrême pourrait perturber l'écosystème forestier. A cet effet, un plan d'adaptation de l'écosystème forestier à la variabilité climatique sera suggéré.

Mots clés : *excédent pluviométrique, déficit pluviométrique, feuillaison, floraison, fructification, adaptation.*

Titre : **Influence de la variabilité climatique sur la phénologie de la forêt de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly.**

Auteur: **RASAMIMANANA Notahinjanahary**

ABSTRACT

Climatological data (temperature, precipitations) covering the period from January 1999 to March 2011 for Bezà Mahafaly region and from 1929 to 1995 for Betioky Sud region has been analyzed. Variabilities are expressed by extreme five times series: severe drought during 1936-1937, 1991-1992 and excess rainfall for three wet season (1953-1954, 2004-2005 and 2010-2011). Rainfall regime has been characterized by deficit and excess rainfall alternately. However, results show that precipitations sequences stay stationary. Trend in average temperature over the past decade proves a significant cooling.

Phenological data (leaf, flower, and fruit) recording from January 2005 to March 2011 in Bezà Mahafaly Special Reserve has been examined. Patterns of leafing, flowering and fruiting phenology were documented from 307 individual trees of 26 species from 15 families growing in the gallery forest and xerophytic bush. Data were recorded bimonthly through two transects of 1000 m each. Correlation test have been done to analyze the relations between phenophase and temperature / precipitations. As a result, the appearance of leaves was significantly correlated with the precipitations and temperature rising. Although, these parameters did not influenced significantly the flowering. Fruiting's peak takes place twice a year: October / January for the gallery forest and November / February for the xerophytic forest. Nonetheless, temperature increasing can entail this fructification. In fact, fruits are abundant when temperature rises up. In the xerophytic bush, fruits decrease significantly when rain is abundant.

Also, deficit rainfall would decrease production of leaf biomass in the study area. This reduction would be a problem insomuch as the leaves are organs specialized in photosynthesis and this latter is the basis of autotrophic plants. It could then affect plant survival and could risk existence of species using the leaf as food. The problem with excess rainfall could not be considered in this study. But, humidity extreme would disturb forest ecosystem. To this end, a plan of adaptation of the forest ecosystem to climate variability will be suggested.

Keywords: *excess rainfall, deficit rainfall, leafing, flowering, fruiting, adaptation.*

Title: **Influence of climate variability in the phenology of forest in Bezà Mahafaly Special Reserve.**

Author: **RASAMIMANANA Notahinjanahary**

TABLE DES MATIERES

RESUME	i
ABSTRACT.....	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES PHOTOS.....	v
LISTE DES CARTES.....	v
LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
GLOSSAIRE	vii

INTRODUCTION..... 1

METHODOLOGIE 4

1. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES	4
2. MILIEU D'ETUDE.....	5
2.1. Historique	5
2.2. Milieu physique.....	7
2.2.1. Localisation géographique et rattachement administratif	7
2.2.2. Climat	8
2.2.3. Relief, Topographie, Hydrographie et Sol	9
2.3. Milieu biologique	10
2.4. Milieu humain	10
3. METHODES D'ETUDES.....	12
3.1. Descente sur terrain	12
3.2. Collecte des données	12
3.2.1. Collecte des données climatiques	12
3.2.2. Collecte des données phénologiques.....	14
3.2.2.1. Données phénologiques.....	14
3.2.2.2. Placettes de suivi phénologique.....	14
3.2.2.3. Nature et fréquence des observations	14
3.2.2.4. Individus observés	15
3.3. Traitements et analyses des données	17
3.3.1. Traitements et analyses des données climatiques	17
3.3.1.1. Traitements des données pluviométriques.....	17
a. Indice pluviométrique	18
b. Ruptures au sein des séries pluviométriques.....	19
c. Tendance pluviométrique.....	20
3.3.1.2. Traitements des données sur la température	20
3.3.2. Traitements et analyses des données phénologiques.....	20
3.3.2.1. Traitements des données phénologiques	20
3.3.2.2. Corrélations entre le climat et les phénomènes.....	21

RESULTATS ET INTERPRETATIONS 23

1.	VARIABILITE CLIMATIQUE	23
1.1.	Variabilité pluviométrique.....	23
1.1.1.	Caractéristiques générales de la Pluviométrie.....	23
1.1.2.	Excédents et Déficits pluviométriques, Ampleur de l’Humidité et de la Sécheresse.....	23
1.1.3.	Rupture du régime pluviométrique	25
1.1.4.	Tendance pluviométrique.....	26
1.2.	Variabilité de la température	26
2.	PHENOLOGIE DES PLANTES	27
2.1.	Feuillaison	27
2.1.1.	Début de feuillaison	27
2.1.2.	Fin de feuillaison	28
2.1.3.	Durée de la feuillaison/défeuillaison.....	29
2.1.4.	Saison de la feuillaison	30
2.2.	Floraison.....	30
2.3.	Fructification	31
3.	INFLUENCE DU CLIMAT SUR LA PHENOLOGIE	31
3.1.	Précipitations et feuillaison.....	31
3.2.	Précipitations et floraison	33
3.3.	Précipitations et fructification.....	34
3.4.	Température et feuillaison	35
3.5.	Température et floraison.....	35
3.6.	Température et fructification	36
3.7.	Perception villageoise de l’influence du climat sur la phénologie.....	36
	DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	39
1.	DISCUSSIONS	39
1.1.	Limite méthodologique.....	39
1.2.	Variabilité climatique	40
1.3.	Influence des précipitations sur la phénologie.....	41
1.4.	Influence de la température sur la phénologie	41
2.	RECOMMANDATIONS	42
2.1.	Variabilité climatique	42
2.2.	Maintien de la forêt.....	43
2.3.	Restauration écologique	44
2.4.	Amélioration des moyens de subsistance des communautés locales	44
2.5.	Plan d’action	45
2.6.	Axe de recherche	49
	CONCLUSION GENERALE	51
	REFERENCES.....	55
	ANNEXES.....	I

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Forêt galerie	6
Photo 2 : Forêt xérophytique	6
Photo 3 : Forêt de transition	6
Photo 4 : Crue abondante de Sakamena suite à des pluies torrentielles en janvier 2011	9
Photo 5 : Mammifère, <i>Lepilemur petteri</i>	11
Photo 6 : Reptile, <i>Astrochelys radiata</i>	11
Photo 7 : Oiseaux, <i>Coua gigas</i>	11
Photo 8 : Amphibien, <i>Ptychadena mascariensis</i>	11
Photo 9 : Agriculture, culture de maïs et de manioc	11
Photo 10 : Elevage, élevage bovin	11
Photo 11 : Autre activité, exploitation de sel gemme.....	12
Photo 12 : Abri météorologique de Bezà Mahafaly	13
Photo 13 : Thermomètre à minima et maxima du centre de recherche de Bezà Mahafaly	13
Photo 14 : Pluviomètre du centre de recherche de Bezà Mahafaly	13

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Localisation de la zone d'étude	7
Carte 2 : Carte pédologique de la région de Bezà Mahafaly	9
Carte 3 : Localisation des transects de suivis phénologiques.....	15

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Diagrammes ombrothermiques de Bezà Mahafaly (a) et de Betioky Sud (b)	8
Figure 2 : Démarche Méthodologique	21
Figure 3 : Variation annuelle des précipitations totales de 1929-2009	23
Figure 4 : Indice pluviométrique de 1929-2009.....	24
Figure 5 : Variation annuelle du nombre de jours de pluie de 1929-1995 et sa tendance linéaire.....	26
Figure 6 : Variation annuelle du nombre de jour de pluie de 1999-2010 et sa tendance linéaire	26
Figure 7 : Variation de la température moyenne annuelle et sa tendance linéaire (1999-2010)	27
Figure 8 : Variation de la température minimale annuelle et sa tendance linéaire (1999-2010).....	27
Figure 9 : Variation de la température maximale annuelle et sa tendance linéaire (1999-2010)	27
Figure 10 : Date de début de feuillaison dans la forêt galerie	28
Figure 11 : Date de début de feuillaison dans la forêt xérophytique.....	28
Figure 12 : Date de début de défeuillaison dans la forêt galerie	29
Figure 13 : Date de début de défeuillaison dans la forêt xérophytique	29
Figure 14 : Durée de la feuillaison dans la forêt galerie	29
Figure 15 : Durée de la feuillaison dans la forêt xérophytique	29

Figure 16 : Pourcentage des arbres avec feuilles depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt galerie	30
Figure 17 : Pourcentage des arbres avec feuilles depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt xérophytique.....	30
Figure 18 : Pourcentage des arbres avec fleurs depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt galerie	31
Figure 19 : Pourcentage des arbres avec fleurs depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt xérophytique.....	31
Figure 20 : Pourcentage des arbres avec fruits depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt galerie	31
Figure 21 : Pourcentage des arbres avec fruits depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt xérophytique.....	31
Figure 22 : Variation de la feuillaison en fonction de la variation des précipitations totales moyennes	32
Figure 23 : Variation de la floraison en fonction de la variation des précipitations totales moyennes .	34
Figure 24 : Variation de la fructification en fonction de la variation des précipitations totales moyennes.....	34
Figure 25 : Variation de la feuillaison en fonction de la température moyenne	35
Figure 26 : Variation de floraison en fonction de la température moyenne	36
Figure 27 : Variation de la fructification en fonction de la température moyenne	36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nombre d’habitants dans les fokontany les plus proches de la Réserve en 2009	10
Tableau 2 : Phénophase, stade et caractéristiques correspondants.....	15
Tableau 3 : Nombre de pieds d’arbres suivis par espèce dans la forêt galerie (Transect n°3)	16
Tableau 4 : Nombre de pieds d’arbres suivis par espèce dans la forêt xérophytique (Transect n°7)....	16
Tableau 5 : Différentes classes des gammes des valeurs des indices (SPI) et leur signification	19
Tableau 6 : Résultats des tests de détection de Ruptures	25

GLOSSAIRE

- **Changement climatique** : c'est la variation de l'état du climat, que l'on peut déceler par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. (GIEC, 2007).
- **Intégrité d'un écosystème** : c'est l'état ou la condition d'un écosystème qui montre des caractéristiques de biodiversité de la référence, telles que la composition spécifique et la structure communautaire, et qui est entièrement capable de maintenir le fonctionnement normal de l'écosystème : maintien des différents cycles bio-géo-chimiques.
- **Phénologie** : la phénologie (dont l'origine étymologique est phénoménologie) désigne, au sens large, l'ensemble des particularités morphologiques du cycle de développement d'un végétal, avec mention des époques de l'année correspondantes. Au sens strict, c'est l'étude des relations entre les phénomènes climatiques et les caractères morphologiques externes du développement de la végétation (Differt, 2001).
- **Phénophases** : phénomènes phénologiques tels l'apparition des boutons floraux, le débourrement, la chute des feuilles, etc.
- **Résilience** : 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.
- **Résistance** : c'est le terme décrivant la capacité d'un écosystème à maintenir ses attributs structuraux et fonctionnels face au stress et aux perturbations.
- **Sécheresse** : Ce terme désigne le phénomène naturel qui se produit lorsque les précipitations ont été sensiblement inférieures aux niveaux normalement enregistrés et qui entraîne de graves déséquilibres hydrologiques préjudiciables aux systèmes de production des ressources en terres.
- **Stabilité** : la stabilité d'un écosystème est la capacité d'un écosystème à maintenir sa trajectoire donnée malgré un stress ; cela dénote un équilibre dynamique. La stabilité est atteinte sur la base de la capacité d'un écosystème à être résistant ou résilient.
- **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.
- **Variabilité phénologique** : c'est la variation dans le temps ou dans l'espace des phénomènes phénologiques.
- **Vulnérabilité** : la vulnérabilité est une condition qui affecte défavorablement la capacité des individus à se protéger de la dégradation de leur bien être socio – économique et environnemental.



Pachypodium geayi

INTRODUCTION



Euphorbia tirucalii

INTRODUCTION

Madagascar est une île très réputée en matière de biodiversité. Il est remarquable par ses 5 écorégions abritant des plantes et vertébrés à taux élevé d'endémicité pour une superficie approximative de 590.000 km² (Gautier et Goodman, 2003). Ces écorégions sont les forêts tropicales à l'Est, forêts sèches caducifoliées au Nord Ouest, Forêts montagneuses sur les hautes terres, forêts humides saisonnières dans la zone de Sambirano et forêts épineuses au Sud de l'île (Langrand, 1995). Elles abritent 8000 à 10000 plantes dont 68% endémiques (Whittaker, 1998). Cependant, les forêts malagasy ne cessent de se dégrader suite à des actions anthropiques. En effet, la pratique de la culture sur brûlis et l'industrialisation rapide dès le 19^{ème} siècle sont les principales causes entraînant la perte de 90% des forêts dans l'île avec ses richesses biologiques (Harper, 2002). Au Sud et Sud-Ouest de l'île, la dégradation des forêts s'accélère avec une vitesse de déforestation entre 16 et 25 km² par an. (Razanaka *et al.*, 2001). La région de Sud-Ouest incluant la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly, où se prospère des forêts sèches, est caractérisée par un climat semi-aride (Ministère de l'Agriculture, 2001). Et sous un tel régime climatique la variabilité climatique se traduit par de longue durée de sécheresse ou d'excès d'eau (Afouda *et al.*, 2001). Or l'eau constitue un facteur limitant le développement des forêts sèches malagasy (Koechlin *et al.*, 1974). Ainsi, la sécheresse caractérisant la région Sud-Ouest pourrait être considérée comme un facteur empêchant le développement des forêts de cette zone. Raselimanana, 2002 a confirmé que cette région se caractérise par des saisons sèches imprévisibles et sévères, donnant lieu à des sécheresses sporadiques et par des dégâts cycloniques conduisant aux destructions et modifications de l'habitat humain. En bref, la variabilité climatique de la région du Sud-Ouest constitue un facteur naturel dégradant les habitats naturels et humains de cette région.

Face au problème de dégradation, conserver les habitats naturels de Madagascar devient une des grandes priorités pour les Institutions de conservations nationales et internationales, ainsi que les Organismes Non Gouvernementaux. (Raselimanana, 2002). La Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly est représentative de la biodiversité de Madagascar notamment celle du Sud-Ouest de l'île à hauteur de 90% (Hotovoe, 2006). Diverses mesures de protection y ont été déjà menées depuis son installation en 1978 mais qu'en est-il des mesures prises pour faire face à la variabilité climatique? La présente étude a pour objectif général de proposer des mesures de conservation adaptées à la variabilité climatique. Mais avant de présenter des mesures de conservation, il serait d'abord normal de vérifier la vulnérabilité de la forêt à la variabilité climatique. En d'autres termes, comment la forêt est-elle influencée par la variabilité climatique? Pour pouvoir répondre à cette question, des données concernant l'évolution dans le temps du climat et de la forêt devraient être mises à disposition. Ces données ont pu être procurées grâce aux suivis phénologiques et météorologiques entrepris au sein de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly depuis plusieurs années. Ces suivis sont considérés, par le Centre de Recherche de Bezà Mahafaly, comme un des outils pour comprendre les liens entre l'écologie et le climat. Les résultats du programme de suivi écologique entrepris à Bezà Mahafaly peuvent aujourd'hui être capitalisés afin de répondre aux besoins d'informations scientifiques pour le

renforcement des actions en faveur de la gestion durable des richesses naturelles. Ainsi s'intitule le présent ouvrage : « *Influence de la variabilité climatique sur la phénologie de la forêt de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly* ».

La variabilité climatique se définit comme les variations de l'état moyen des paramètres climatiques (Température, Précipitations) à toutes les échelles temporelles et spatiales. A l'échelle intra-annuelle, cette variabilité se traduit par la division d'une année en saison sèche et saison humide. A l'échelle interannuelle, elle concerne les années humides et les années sèches.

La phénologie est l'étude des différentes phases de développement de plantes ou d'animaux au cours de leurs cycles de vie (Lebourgeois et Godfroy, 2005). Un arbre (plante pérenne) effectue chaque année un cycle saisonnier marqué par des événements qui se déroulent toujours dans le même ordre. Le cycle débute généralement par la production de feuilles. La production des nouvelles feuilles s'effectue d'abord par le débourrement, c'est-à-dire par l'éclatement des bourgeons, immédiatement suivi de la feuillaison avec l'apparition des nouvelles feuilles déployées. Ce cycle se poursuit par la production de fleurs puis de fruits, puis par la sénescence des feuilles qui, se décolorent sous l'effet de la résorption des pigments, c'est-à-dire le rapatriement des pigments des feuilles vers les réserves. L'arbre récupère ainsi une grande partie de l'azote dont il a besoin, élément difficile à acquérir pour lui par rapport au carbone qu'il est capable d'assimiler sous forme de dioxyde de carbone grâce à la photosynthèse. L'ensemble de l'étude de ces événements porte un nom : la phénologie des plantes.

L'objectif principal de la phénologie est d'observer et d'enregistrer le retour annuel des phases de croissances et de développement des organismes et d'étudier les facteurs qui l'influencent (Schneiter *et al.* 2002). Parmi ces facteurs se trouve le climat en particulier la pluie et la température.

Les observations phénologiques constituent des données très importantes pour les améliorateurs de plantes (choix des provenances selon la précocité ou la tardiveté du débourrement) (Vernier et Teissier du Cros, 1996) et font partie des éléments de la connaissance de l'autécologie des essences (Comps *et al.*, 1987). Elles déterminent aussi la durée des échanges de carbones entre les végétaux et l'atmosphère ; l'allongement de la saison de croissance est une cause importante de l'accroissement des échanges de dioxyde de carbone entre la biosphère et l'atmosphère (Keeling *et al.*, 1996).

Les principales parties de ce travail sont les suivantes: - Méthodologie incluant le dispositif de milieu d'étude- Résultats et interprétations – Discussions et Recommandations sur la conservation face à la variabilité climatique.



Pachypodium geayi

METHODOLOGIE



Euphorbia tirucalii

METHODOLOGIE

1. PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

La biodiversité de Madagascar connaît actuellement l'effet du changement climatique (Hannah *et al.*, 2008). Avec un taux d'endémisme 80% pour la faune et 90% pour la flore (Primack et Ratsirarson, 2005), les enjeux sont énormes. Tadross *et al.*, 2008 ont prévu que les températures moyennes vont accroître de 1,1 à 2,6°C partout dans l'île avec un grand réchauffement dans le Sud et un léger le long de la côte et dans le Nord. Les précipitations, selon toujours ce même auteur, augmenteront de janvier à avril. Cependant, avant même l'apparition du changement climatique la biodiversité et les habitats naturels de la partie Sud de l'île subissent déjà des effets de la variabilité climatique. En effet, la période humide dans cette zone correspond notamment au passage du phénomène El Niño (Jury 2003). El Niño est la phase chaude de l'El Niño Southern Oscillation (ENSO) qui est une oscillation couplée océan-atmosphère et est le mode dominant de la variabilité tropicale de l'échelle interannuelle à décennale (Bélamari *et al.*, 2005). L'événement El Niño se caractérise par un réchauffement du Pacifique tropical Est (le long de la langue d'eau froide équatoriale), une modification de la circulation océanique en association avec une diminution des alizés et une altération de l'ensemble de la circulation atmosphérique tropicale. Mais les types de végétation florissant dans le Sud sont déjà des végétations adaptées aux conditions de son milieu. Dans un tel sens, la variabilité climatique en elle-même ne constitue pas alors un problème pour les habitats naturels du Sud. Le problème se pose sur la persistance de la sécheresse ou de l'excès d'eau.

Actuellement, les effets à la fois du changement climatique et de la variabilité climatique conduisent à une hypothèse de désertification¹ dans le futur de la partie Sud et Sud Ouest de Madagascar. Appartenant au Sud Ouest de l'île, la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly n'est pas à l'abri de telle menace. C'est dans ce contexte qu'est suscitée notre réflexion à remettre en cause le changement climatique dans le milieu et l'adaptation des plantes à la variabilité climatique: le climat de Bezà Mahafaly et ses alentours a-t-il vraiment changé ou reste-t-il seulement variable ? Les plantes s'adaptent-elles à la variabilité du climat ou sont-elles vulnérables à cette variabilité ? L'étude sur le climat se focalisera essentiellement aux précipitations du fait qu'un des principaux facteurs limitant ou conditionnant la croissance des plantes dans les forêts est la ressource en eau, et en particulier la pluviométrie étant un autre facteur essentiel (Châtelet, 2010).

Ainsi, la problématique, que cette étude répondra, se formule comme l'inexistence de caractérisation de la variabilité du climat de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly et l'incompréhension de son influence sur la phénologie des plantes qui s'y trouvent. Pour mieux saisir cette problématique, elle a été modifiée en deux questions, à savoir : Comment se caractérise la variabilité du climat dans la

¹ La dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines (**Toulmin 1993**)

Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly ? Comment cette variabilité du climat affecte-t-elle la phénologie de la forêt de Bezà?

Il faut noter que la variabilité du climat a pu être vérifiée grâce à deux sources de données : les données récoltées auprès du service météorologique Ampandrianomby et les données recueillies auprès du centre de recherche de Bezà Mahafaly.

Compte tenu de la problématique de l'étude, deux hypothèses considérées à vérifier de celle-ci ont été émises :

Hypothèse 1 : *le climat de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly reste variable*. La vérification de la variabilité du climat se portera sur deux paramètres : les précipitations et la température. Le climat reste variable si l'évolution des paramètres climatiques est stationnaire et que les paramètres climatiques présentent une grande dispersion autour de la moyenne.

Hypothèse 2 : *la variabilité climatique fait décaler la feuillaison, la floraison et la fructification*. Cette hypothèse peut aussi se formuler comme suit : l'apparition des événements phénologiques devient plus précoce ou plus tardive sous l'effet de la variabilité du climat. La vérification de cette hypothèse apportera des informations sur l'évolution de l'apparition des phases phénologiques et son état actuel.

Par rapport à ces hypothèses, la présente étude vise à proposer des mesures de conservation adaptées à la variabilité climatique. L'atteinte de cet objectif général est tributaire de l'atteinte de sous-objectif suivant : caractériser la variabilité du climat dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly pour mieux comprendre son influence sur la phénologie des plantes qui s'y trouvent. Les objectifs spécifiques de l'étude consistent donc à :

- Caractériser la variabilité du climat à partir des données climatiques de Betioky Sud et de Bezà Mahafaly ;
- Caractériser la phénologie de la forêt de Bezà Mahafaly ;
- Caractériser la manifestation de la variabilité climatique sur la phénologie de la forêt de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly ;
- Mettre en œuvre un plan d'adaptation de l'écosystème forestier à la variabilité climatique.

2. MILIEU D'ETUDE

2.1. Historique

En 1978, Le conseil populaire de la commune rurale d'Ankazombalala (ex-Beavoaha) a décidé de confier à l'ESSA/Forêts la gestion des deux parcelles de Bezà Mahafaly. Ces deux parcelles ont été instituées en Réserve Spéciale le 04 juin 1986 par le décret n°86-168. Depuis 1994, grâce à l'appui financier de la fondation Liz Claiborne/Art Ortenberg, qu'un programme de partenariat a été initié entre ESSA/Forêts, l'Université de Yale, et la population riveraine de la Réserve Spéciale.

(Ratsirarson, 2003). Actuellement, la gestion de la Réserve est assurée par Madagascar National Parks dont l'ESSA/forêts est responsable du Volet Recherche. Ce dernier entreprend des recherches fondamentales comme les recherches sur l'écologie et la biodiversité, des recherches appliquées comme les études socio-économiques. Il effectue aussi des suivis à long terme du climat, de la faune et de la flore afin de suivre l'évolution de l'écosystème et d'adopter par conséquent l'action de conservation y afférente. L'objectif principal du projet Bezà Mahafaly consiste d'une part, à conserver l'écosystème et la biodiversité unique du Sud-Ouest de Madagascar tout en intégrant le développement à la conservation et d'autre part à servir de centre de formation et de recherche pour les étudiants et les chercheurs tant nationaux qu'internationaux.

La Réserve disposait d'une superficie d'environ 600 hectares repartis sur deux parcelles non contiguës distantes de dix kilomètres (Ratsirarson, 2003). La première parcelle ayant une superficie de 80 hectares est une forêt galerie longeant la berge de la rivière Sakamena, située près du campement et clôturée par des rangées de fil de fer barbelé (cf. Photo 1). La deuxième parcelle d'une superficie d'environ 520 hectares est une forêt xérophytique dont les parties Sud et Nord ont été matérialisées par des plantations de haies vives de l'espèce *Opuntia* sp. et de l'espèce *Alluaudia procera*, et balisées sur les périphéries par des bornes en pierres peintes en jaune (cf. Photo 2). Le couloir forestier reliant les deux parcelles est constitué par une forêt de transition plus ou moins dégradée à cause de son utilisation intensive comme terrain de pâturage et de collecte de produits forestiers des environnants (cf. Photo 3). (Ratsirarson *et al.*, 2001). Suite à l'engagement de Madagascar d'étendre son Aire Protégée, la Réserve passe de sa superficie actuelle de 600 hectares à 4600 hectares. Ces 4600 hectares comprennent les anciennes parcelles qui seront reliées entre elles par une zone à vocation de conservation, auxquelles s'ajoutent des forêts et milieux naturels environnants essentiellement voués aux droits d'usages traditionnels. (cf. Annexe 2).



Rasamimanana N. (2011)

Photo 1 : Forêt galerie



Rasamimanana N. (2011)

Photo 2 : Forêt xérophytique



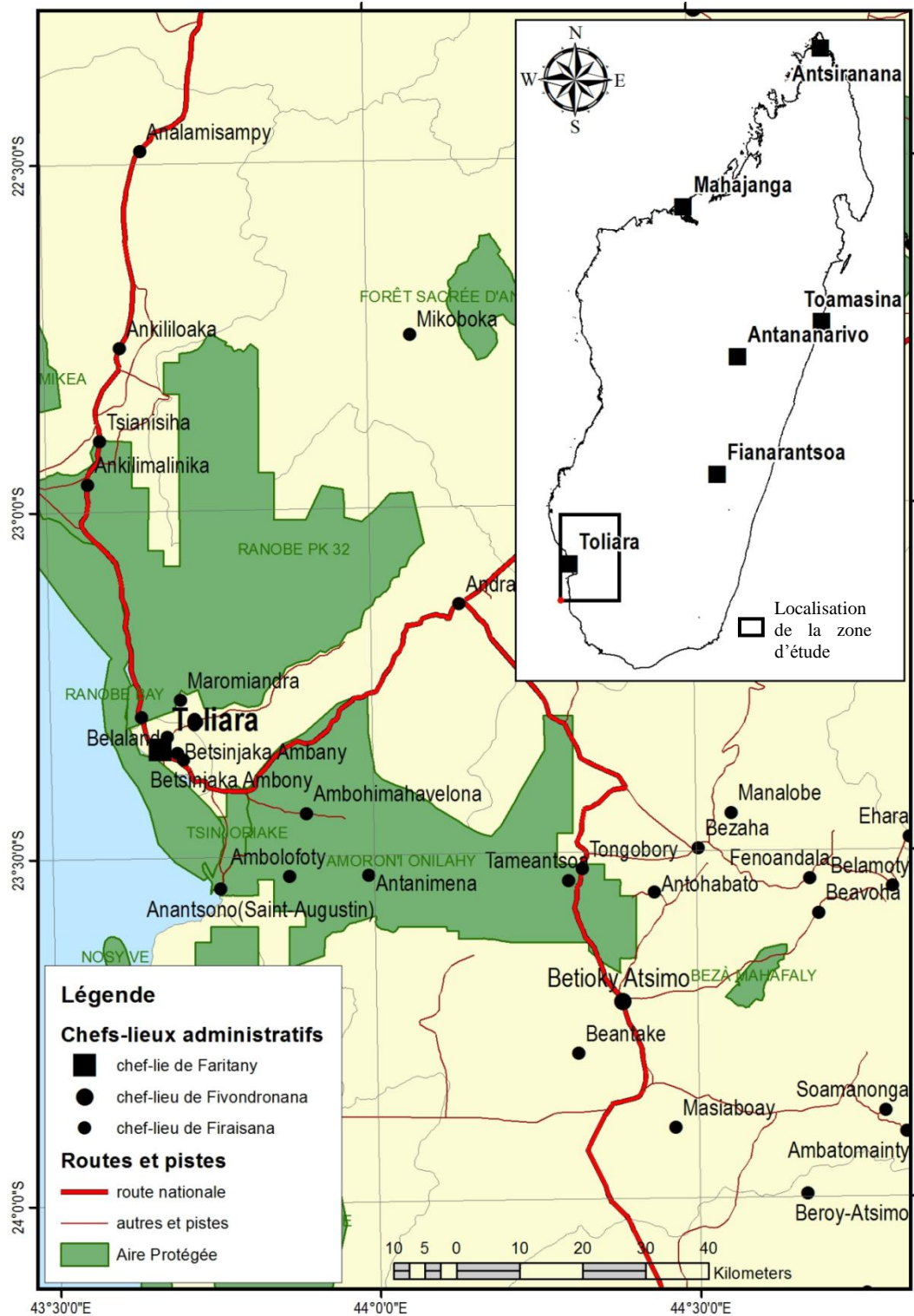
Rasamimanana N. (2011)

Photo 3 : Forêt de transition

2.2. Milieu physique

2.2.1. Localisation géographique et rattachement administratif

La Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly est incluse dans la Région Atsimo Andrefana de Madagascar et se trouve dans le District de Betioky Sud, Commune Rurale d'Ankazombalala (ex-Beavoha), Fokontany de Mahazoarivo. Autrement dite, elle se situe entre 23°38'60" et 23°41'20" de latitude sud et 44°32'20" et 44°34'20" de longitude Est soit à 35km au Nord Est de Betioky Sud (cf. Carte 1).



Carte 1 : Localisation de la zone d'étude

(Source : Labo SIG ESSA/Forêts, 2011)

2.2.2. Climat

La Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly et ses environs sont soumis à un climat semi-aride (Ratsirarson, 2003). La courbe de variation moyenne des températures et des précipitations annuelles durant 11 années successives (1999-2010) à partir des relevés journaliers de la station météorologique de Bezà Mahafaly et celle de la station de Betioky Sud durant 30 années (1961-1990) sont représentées sur la Figure 1. Les deux courbes ont été représentées du fait que des données issues de ces deux stations ont été utilisées pour l'étude de la variabilité du climat.

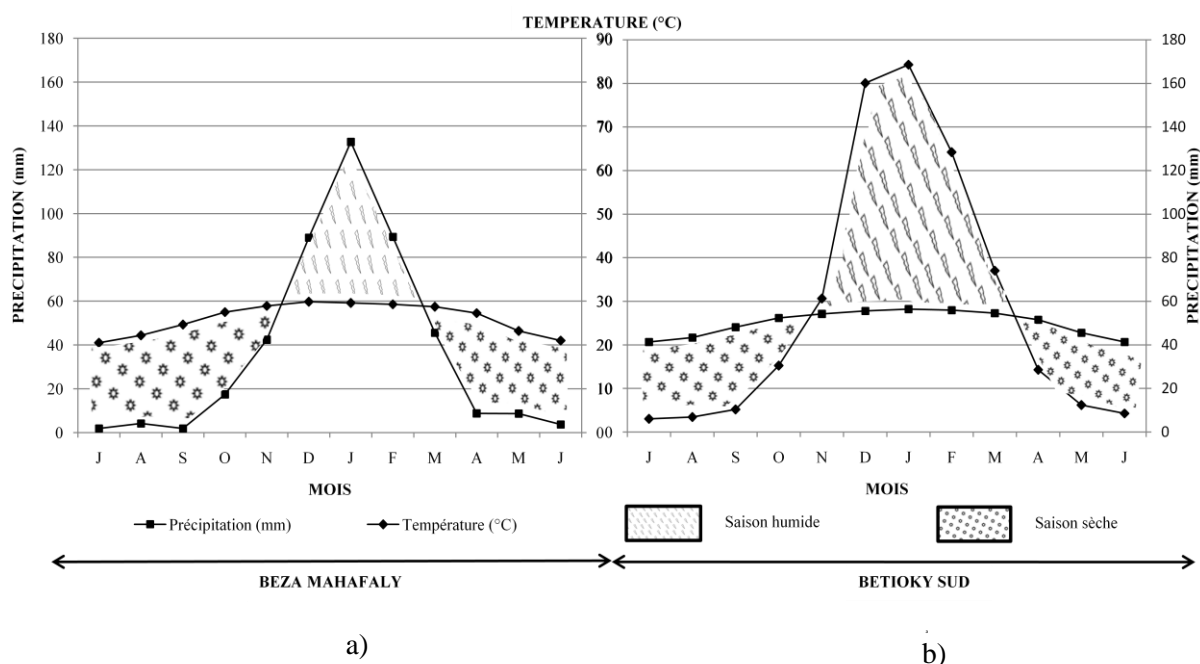


Figure 1 : Diagrammes ombrothermiques de Bezà Mahafaly (a) et de Betioky Sud (b)

(Source : Centre de Recherche de Bezà Mahafaly, donnée 1999-2010 et Service météorologique Ampandrianomby, donnée 1961-1990)

Ces diagrammes ombrothermiques mettent en évidence la présence de deux saisons bien distinctes au niveau de Betioky Sud et de Bezà Mahafaly: la saison humide de Novembre à Mars, pendant laquelle la courbe de variation des précipitations est au dessus de celle de la température ; et la saison sèche d'Avril à Octobre, pendant laquelle la courbe de variation de la température est au dessus de celle des précipitations. La hauteur des précipitations est maximale au mois de Janvier pour les deux stations mais cette valeur est largement supérieure pour Betioky Sud. À Bezà Mahafaly, cette valeur est encore inférieure aux précipitations totales tombées au mois de Décembre à Betioky Sud. Ce qui fait que Bezà Mahafaly est plus aride que Betioky Sud.

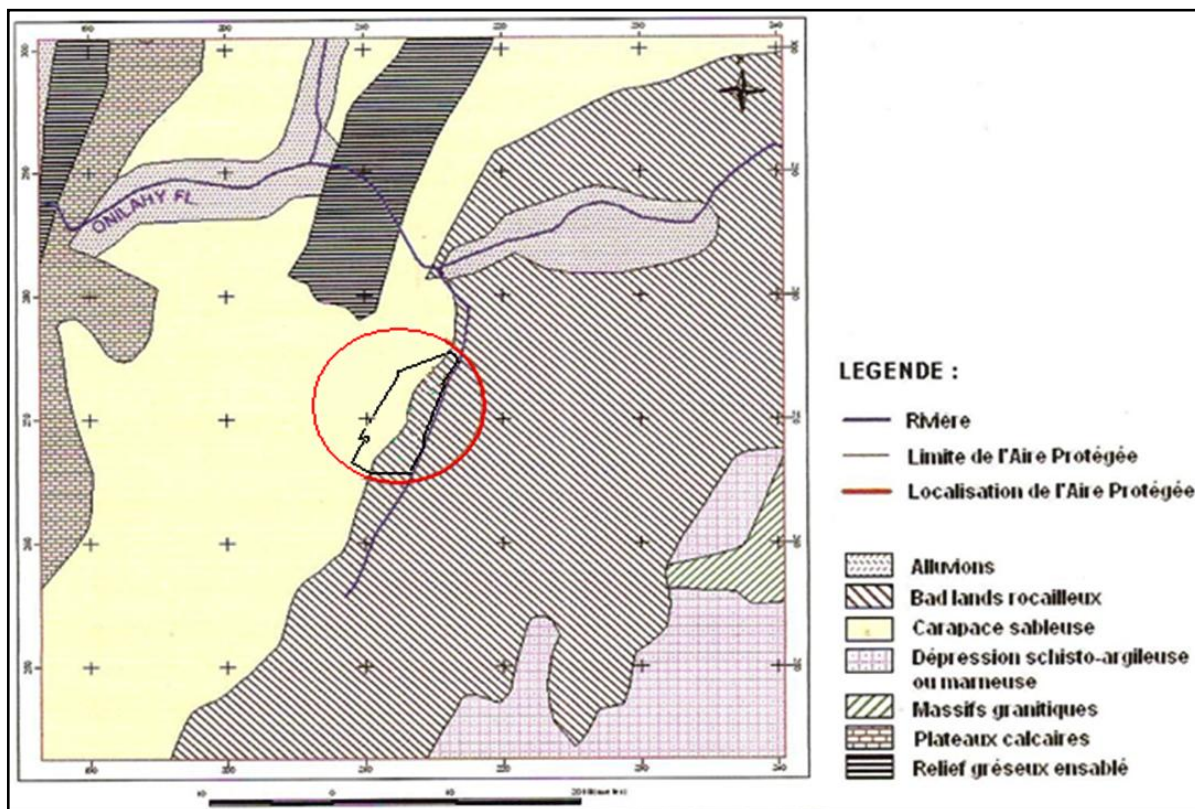
La frange côtière de la région du Sud-Ouest est balayée en permanence par un vent dominant «Tsiokatimo» suivant la direction Sud Ouest-Nord Est (Ministère de l'Agriculture, 2001). Betioky Sud, incluant la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly, est très exposé à ce vent.

2.2.3. Relief, Topographie, Hydrographie et Sol

La région de Bezà Mahafaly est dominée par un relief relativement plat avec des successions de plateaux peu nivelés. L'altitude varie de 130 m à 170 m. (Ratsirarson, 2003). Elle se trouve directement sur le bassin sédimentaire de Morondava (Youssof, 2004). En général, deux types de sols sont rencontrés dans la région (Ratsirarson, 2003): les sols alluvionnaires (ou sol peu évolué d'apport appelé couramment baiboho) se rencontrant au bord de la rivière Sakamena (cf. Photo 4); les sols ferrugineux tropicaux sur des matériaux d'origine gréseuse constitués par un sol rocailleux à sable roux résultant de la décomposition des roches ou d'apports par les eaux de pluie et par les vents. (cf. Carte 2).



Photo 4 : Crue abondante de Sakamena suite à des pluies torrentielles en janvier 2011



Carte 2 : Carte pédologique de la région de Bezà Mahafaly

(Source : d'après BD 500, FTM, Service Géologique (1957))

2.3. Milieu biologique

Concernant la composition floristique de la zone d'étude, plus de 122 espèces appartenant à 49 familles ont été recensées (cf. Annexe 1). La plupart de ces espèces ont une forme d'adaptation particulière pendant la saison sèche. Elles sont soit à feuilles caduques (*Commiphora spp.*), soit à feuilles en cladode (*Opuntia sp.*), ou épineuses (*Alluaudia procera*, *Acacia spp.*), ou microphylles (*Gardenia sp.*). Elles peuvent être aussi à tubercules (*Discorea spp.*). La crassulescence est également une forme d'adaptation de certaines espèces (*Kalanchoe sp.*, *Xerocysios sp.*) au climat aride du Sud de Madagascar. (Ratsirarson, 2003).

Pour la faune, la forêt de Bezà Mahafaly abrite beaucoup d'espèces de Mammifères à savoir : quatre espèces de Lémuriens, six espèces d'Afrosoricida et Soricomorpha, deux espèces de Rongeurs, trois espèces de Carnivores, quatre espèces de Chiroptères et une espèce d'Ongulés (cf. Photo 5). Pour l'embranchement des Reptiles, le nombre d'espèces trouvées et identifiées jusqu'à 2001 atteint 36 espèces de Reptiles qui se répartissent comme suit : 15 espèces de Serpents, 18 espèces de Lézards, deux espèces de Tortues et une espèce de Crocodile (cf. Photo 6). Cent deux (102) espèces d'oiseaux ont été recensées à Bezà Mahafaly et ses environs (cf. Photo 7). Les Amphibiens sont représentés par trois espèces (cf. Photo 8). (Ratsirarson *et al.*, 2001).

2.4. Milieu humain

Pour le milieu humain, les Mahafaly, les Antandroy et les Tanala sont les tribus rencontrés aux alentours de Bezà Mahafaly. Toutefois, les Mahafaly sont les plus nombreux. En 1993, la commune d'Ankazombalala disposait de 8.090 habitants (Hotovoe, 2006). En 2009, les habitants de cette commune se chiffrent à 20218 dont 5561 se trouvent dans les cinq villages les plus proches de la Réserve (cf. Tableau 1). (Commune Ankazombalala, 2009). L'élevage et l'agriculture constituent les principales activités de la population. L'artisanat et l'exploitation du sel gemme restent encore comme activités secondaires (Ratsirarson, 2003). (cf. Photo 9, Photo 10, Photo 11).

Tableau 1 : Nombre d'habitants dans les fokontany les plus proches de la Réserve en 2009

FOKONTANY	NOMBRE D'HABITANT
Ambinda	878
Analafaly	1520
Antarabory	689
Mahazoarivo	1544
Mihary	930
TOTAL	5561

(Source : commune Ankazombalala, 2009)



Mittermeier et al. (1994)

Photo 5 : Mammifère, *Lepilemur petteri*



Rasamimanana N. (2011)

Photo 6 : Reptile, *Astrochelys radiata*



Langrand, (1990)

Photo 7 : Oiseaux, *Coua gigas*



Rödel et al., (2008)

Photo 8 : Amphibien, *Ptychadena mascariensis*



Rasamimanana N. (2011)

Photo 9 : Agriculture, culture de maïs et de manioc



Rasamimanana N. (2011)

Photo 10 : Elevage, élevage bovin



Photo 11 : Autre activité, exploitation de sel gemme

3. METHODES D'ETUDES

3.1. Descente sur terrain

La descente à Bezà Mahafaly a été réalisée durant 45 jours de 21 janvier au 07 mars 2011, soit une mission de six semaines pendant la saison de pluie. Ces six semaines ont servi à effectuer des tâches telles la reconnaissance de la zone d'étude, l'enquête sur le thème climat et phénologie (cf. Annexe 3), les observations phénologiques, le suivi climatique et la documentation au sein de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. Le choix de la descente a été fait en saison de pluies vu que la production de feuilles est maximale dans la forêt sèche de l'Ouest de Madagascar durant cette saison (Chouteau, 2006).

Une étude cartographique a été réalisée pour mettre à jour la localisation de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly ou plus précisément la délimitation de ses deux parcelles. Cette étude vise aussi à situer géographiquement les transects de suivi phénologique. Pour ce faire, des relevés de coordonnées géographiques de quelques points de la zone d'étude ont été faits à l'aide d'un GPS (Global Positioning System).

L'enquête sur le thème climat et phénologie a été menée pour avoir surtout l'appréciation des gens locaux sur le mode d'adaptation des plantes face à la variabilité du climat ou l'influence du climat sur la phénologie (vérification de la deuxième hypothèse). Les fokontany visités lors de l'enquête sont : Mahazoarivo, Analafaly et Antevamena-Ambinda. Le nombre d'individu enquêté est 30. Les observations phénologiques et le suivi climatique ont été réalisés non seulement pour connaître les stades phénologiques des plantes et l'état du climat lors de la descente sur terrain mais surtout pour maîtriser le mode de suivi phénologique et climatique adopté à Bezà Mahafaly.

3.2. Collecte des données

3.2.1. Collecte des données climatiques

Deux sources principales de données ont été exploitées : les données de la station météorologique de Betioky Sud provenant du service météorologique Ampandrianomby et celles de la station

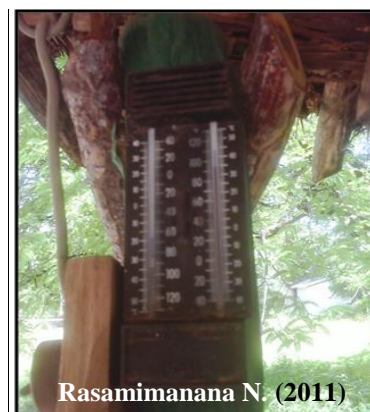
météorologique de Bezà Mahafaly² obtenues auprès du centre de Recherche de Bezà Mahafaly. Les données utilisées concernant Betioky Sud sont des données sur les précipitations allant de 1929-1995³. Elles concernent la hauteur pluviométrique mensuelle et le nombre mensuel de jours de pluie. Pour Bezà Mahafaly, les données climatiques sont relatives à des données journalières de température et de précipitations allant de janvier 1999⁴ à mars 2011. En effet, ces données sont obtenues grâce à deux équipements de la station météorologique de Bezà Mahafaly : le pluviomètre et le thermomètre.

Le pluviomètre de ladite station est constitué par un récipient cylindrique surmonté par un entonnoir, tous les deux en plastique (cf. Photo 14). Il sert à mesurer la quantité totale des précipitations pendant un certain temps donné. La quantité totale des précipitations qui atteint le sol pendant une période donnée est exprimée par l'épaisseur dont elle couvrirait un sol horizontal s'il n'y avait pas de perte par évaporation ou par écoulement et si toutes les précipitations tombées sous forme de grêle étaient fondues. L'unité de mesure de cette épaisseur est le millimètre c'est-à-dire 1 millimètre de pluie sur une surface de 1 mètre carré représente un volume de 1 litre.

Le thermomètre utilisé à Bezà Mahafaly enregistre à la fois la température minimale et la température maximale : c'est un thermomètre à minima et à maxima. Il est installé à l'ombre donc sous-abri. En effet, Bezà Mahafaly dispose d'un abri météorologique (cf. Photo 12) servant à préserver le thermomètre de la pluie, du soleil, de la chaleur et du froid que transmettent les objets environnants. Cependant, l'enregistrement de la température a tourné court au bout de quelques années, l'humidité pendant la saison de pluie en 2003 suffisait à endommager l'appareil. L'enregistrement de la température a été repris, en 2004, à l'aide d'un thermomètre toujours à minima et à maxima (cf. Photo 13) mais avec changement d'abri. Ce dernier est à 1,50 mètre du sol et sous l'ombre, comme le premier, mais plus protégé de la pluie.



**Photo 12 : Abri
météorologique de Bezà
Mahafaly**



**Photo 13 : Thermomètre à
minima et maxima du centre
de recherche de Bezà
Mahafaly**



**Photo 14 : Pluviomètre du
centre de recherche de Bezà
Mahafaly**

² Cette station se trouve dans le campement de Bezà Mahafaly.

³ Période pendant laquelle la station météorologique de Betioky Sud fonctionnait.

⁴ Année à laquelle ont commencé les mesures effectives de température et de précipitations à Bezà Mahafaly.

3.2.2. Collecte des données phénologiques

3.2.2.1. Données phénologiques

Des données phénologiques recueillies par le Centre de Recherche à Bezà Mahafaly depuis 2005⁵ ont pu être exploitées pour cette étude. Elles concernent la feuillaison, la floraison et la fructification. Les principales essences observées sont des arbres et arbustes ayant des valeurs économiques et écologiques. En effet, plusieurs espèces de plantes autour de la Réserve sont reconnues d'une importance économique car elles fournissent de la nourriture, des médicaments et des matériaux de construction pour la population locale (*Terminalia seirigii*, *Quisvianthe papionae*, etc.). Quelques espèces sont aussi écologiquement importantes car elles sont une source d'alimentation pour certains animaux (*Tamarindus indica*, *Salvadora angustifolia*, etc.). (Ratsirarson *et al.*, 2001).

3.2.2.2. Placettes de suivi phénologique

Pour l'étude de la flore, le Centre de Recherche de Bezà Mahafaly a matérialisé, à l'intérieur et à l'extérieur des deux parcelles de la Réserve, douze séries de transects permanents d'un hectare (1000mx10m). Trois séries (numérotées de 1 à 3) se trouvent à l'intérieur et deux séries à l'extérieur de la première parcelle, et quatre séries (numérotées de 6 à 9) à l'intérieur et trois autres séries à l'extérieur de la deuxième parcelle. (Ratsirarson *et al.*, 2001). Le Centre de Recherche de Bezà Mahafaly a entrepris les suivis phénologiques dans les transects numéro 3 et numéro 7 (cf. Carte 3). En effet, le transect numéro 3 est le plus riche en nombre d'espèces (71 espèces⁶) parmi les trois transects se trouvant à l'intérieur de la première parcelle et le transect numéro 7 est le plus riche en nombre d'espèce (44 espèces⁷) parmi les quatre transects se trouvant à l'intérieur de la deuxième parcelle.

3.2.2.3. Nature et fréquence des observations

Les arbres à suivre pour une espèce donnée ont été marqués et numérotés. Chaque arbre suivi a été matérialisé par le Centre de Recherche de Bezà Mahafaly, à l'aide de peinture. En effet, le nom vernaculaire et le numéro de l'arbre durant son inventaire sont indiqués sur son fût. Le suivi a été réalisé en codant chaque stade phénologique de 0 à 3 (cf. Tableau 2). Chaque stade est défini si une phénophase donnée est présente à 60% ou plus sur l'arbre.

Les observations ont été réalisées tous les 15 jours pour les deux parcelles. Toutefois, des interruptions pouvant varier d'une à six observations⁷ ont été constatées chaque année. Ces interruptions seraient due à des problèmes touchant de façon inattendue (comme le mauvais temps, la maladie, etc.) l'agent de suivi phénologique. Les observations sont effectuées tous les 14^{ème} et les 29^{ème} jours du mois pour la parcelle I, et les 15^{ème} et les 30^{ème} jours du mois pour la parcelle II. Les arbres suivis sont observés à

⁵ Seules les données phénologiques depuis 2005 nous ont été disponibles.

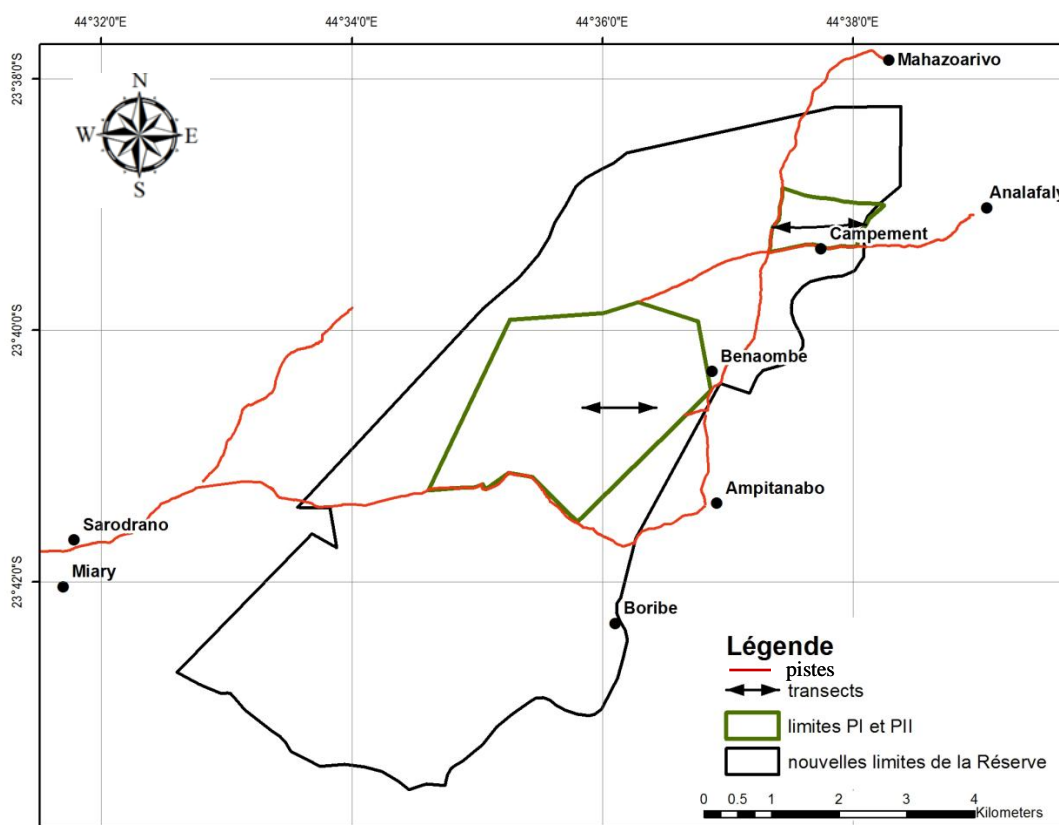
⁶ Dans Ratsirarson *et al.*, 2001

⁷ Par exemple l'interruption d'observation dans la deuxième parcelle durant trois mois (Octobre, Novembre, Décembre) en 2005.

l'œil nu ou à l'aide d'une paire de jumelle et les stades phénologiques sont enregistrés dans une fiche de suivi phénologique (cf. Annexe 4 ; Annexe 5).

Tableau 2 : Phénophase, stade et caractéristiques correspondants

Phénophases	Stade	Caractéristiques
Feuillaison	0	Rameaux nus, sans feuilles
	1	Boutons foliaires, premières feuilles non encore épanouies
	2	Feuilles épanouies et abondantes sur rameaux
	3	Jaunissement et chute des premières feuilles
Floraison	0	Aucune fleur sur l'arbre
	1	Bourgeons floraux
	2	Plein épanouissement et abondance des fleurs
	3	Fleurs fanant avec chute des pièces florales
Fructification	0	Aucun fruit sur l'arbre
	1	Fruit en bouton
	2	Maturité et abondance des fruits
	3	Chute des fruits



Carte 3 : Localisation des transects de suivis phénologiques

(Source : Labo SIG ESSA/Forêts, 2011)

3.2.2.4. Individus observés

Dans la première parcelle, 129 pieds d'arbres appartenant à 14 espèces et 10 familles ont été suivies. Dans la deuxième parcelle, l'observation phénologique s'est portée sur 178 pieds d'arbres appartenant

à 19 espèces et 12 familles. Sept espèces relatives à six familles sont observées à la fois dans la première parcelle et la deuxième parcelle. Les individus suivis par espèce sont au nombre de 10 mais au cours du temps il y avait des individus morts. Le nombre d'individu inscrit dans le Tableau 3 et le Tableau 4 se réfère au nombre d'individus suivis en janvier 2005.

Tableau 3 : Nombre de pieds d'arbres suivis par espèce dans la forêt galerie (Transect n°3)

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire	Nombre de pieds suivis par espèce
<i>Commiphora aprevalii</i>	Burseraceae	daro	10
<i>Euphorbia tirucalii</i>	Euphorbiaceae	famata	9
<i>Azima tetracantha</i>	Salvadoraceae	filofilo	10
<i>Syregada chauvetiae</i>	Euphorbiaceae	hazombalala	10
<i>Rhigozum madagascariensis</i>	Bignoniaceae	hazontaha	5
<i>Grewia franciscana</i>	Tiliaceae	taikafotse	10
<i>Cedrelopsis grevei</i>	Ptaeroxylaceae	katrafay	10
<i>Tamarindus indica</i>	Cesalpiniaceae	kily	10
<i>Grewia grevei</i>	Tiliaceae	kotipoke	10
<i>Salvadora angustifolia</i>	Salvadoraceae	sasavy	10
<i>Terminalia seyrigii</i>	Combretaceae	taly	10
<i>Grewia leucophylla</i>	Tiliaceae	tratriborondreo	10
<i>Acacia bellula</i>	Mimosaceae	tratriotse	5
<i>Quivisianthe papionae</i>	Meliaceae	valiandro	10

Tableau 4 : Nombre de pieds d'arbres suivis par espèce dans la forêt xérophytique (Transect n°7)

Nom scientifique	Famille	Nom vernaculaire	Nombre de pieds suivis par espèce
<i>Commiphora aprevalii</i>	Burseraceae	daro	10
<i>Euphorbia tirucalii</i>	Euphorbiaceae	famata	10
<i>Euphorbia rutembergianum</i>	Euphorbiaceae	famatabetondro	10
<i>Alluaudia procera</i>	Didieraceae	fantsiolotse	10
<i>Uncarina grandidieri</i>	Pedaliaceae	farehitse	5
<i>Terminalia fatrae</i>	Combretaceae	fatra	10
<i>Syregada chauvetiae</i>	Euphorbiaceae	Hazombalala	10
<i>Phyllanthes decoryanus</i>	Euphorbiaceae	hazomena	10
<i>Rhigozum madagascariensis</i>	Bignoniaceae	hazonta	10
<i>Gyrocarpus americanus</i>	Hernandiaceae	kapaipoty	10

<i>Cedrelopsis grevei</i>	Ptaeroxylaceae	katrafay	11
<i>Mimosa delicantuta</i>	Mimosaceae	kirava	10
<i>Grewia grevei</i>	Tiliaceae	kotipoke	10
<i>Grewia franciscana</i>	Tiliaceae	taikafotse	10
<i>Terminalia seyrigii</i>	Combretaceae	taly	10
<i>Commiphora brevicalyx</i>	Burseraceae	taraby	10
<i>Gardenia sp</i>	Rubiaceae	volivaza	10
<i>Pachypodium rutembergianum</i>	Apocynaceae	vontakindria	9
<i>Pachypodium geayi</i>	Apocynaceae	vontanky	3

Lors de la deuxième observation du mois de mars 2011, 34 pieds d'arbres sur 129 suivis depuis 2005 dans la parcelle I et 62 sur 178 suivis dans la parcelle II étaient déjà morts dus à des coupes ou à des tombées causées par le vent.

3.3. Traitements et analyses des données

Toutes les données récoltées ont été organisées de manière à obtenir une version synthétique facilitant l'analyse des données et leur exploitation. Les données sur les coordonnées géographiques ont été traitées à l'aide du logiciel Arc map. Ces données n'ont servi qu'aux localisations de la zone d'étude et des transects de suivis.

3.3.1. Traitements et analyses des données climatiques

L'outil d'analyse utilisé pour l'étude de la variabilité climatique est la statistique. Mais avant l'analyse, les données ont été soumises à un contrôle préalable en vérifiant ses cohérences internes. Les valeurs manquantes (V_m) sont estimées à l'aide de la relation suivante :

$$V_m = V_i = \text{médiane}(V_{i-2}; V_{i-1}; V_{i+1}; V_{i+2})$$

Où V_i correspond à la valeur des précipitations ou de la température de l'année i . Les valeurs manquantes sur plus de deux années successives n'ont pas pu alors être complétées. L'homogénéité des séries a été ensuite vérifiée par la méthode des cumuls des différences. Ainsi, seules les données allant de 1929 à 1995 (sur 66 ans) ont pu être rendues continues et homogènes pour Betioky Sud. La continuité et l'homogénéité de toutes les données (janvier 1999 à mars 2011) provenant de Bezà Mahafaly ont pu être établies.

3.3.1.1. Traitements des données pluviométriques

L'étude de la variabilité pluviométrique a été analysée à partir des analyses simples des séries pluviométriques (calcul des moyennes interannuelles et des écarts-types), du calcul de l'indice pluviométrique, de la recherche de tendance et de la détection de(s) point(s) de rupture.

a. *Indice pluviométrique*

Pour mieux visualiser les périodes d'excédent et de déficit pluviométrique d'une année considérée par rapport à la période de l'étude, l'indice pluviométrique a été utilisé. Cet indice est calculé par la méthode des moyennes mobiles pondérées ou Filtre passe-bas de Hanning d'ordre 2 (Dao *et al.* 2010). Le procédé consiste à filtrer les données afin d'éliminer les variations saisonnières en utilisant le filtre non récursif passe-bas de Hanning d'ordre 2 (moyennes mobiles pondérées). Ce filtre permet d'estimer chaque terme de la série pluviométrique de la manière suivante:

$$X_t = (0,06 * x_{t-2}) + (0,25 * x_{t-1}) + (0,38 * x_t) + (0,25 * x_{t+1}) + (0,06 * x_{t+2})$$
$$3 \leq t \leq n - 2$$

Où X_t est le total pluviométrique pondéré du terme t , x_t est le total pluviométrique observé du terme t , x_{t-2} et x_{t-1} sont les totaux observés de deux termes qui précèdent immédiatement le terme t , x_{t+1} et x_{t+2} sont les totaux observés de deux termes qui suivent immédiatement le terme t , n est la taille de la série. Les totaux pondérés des deux premiers (x_1, x_2) et les deux derniers (x_{n-1}, x_n) termes de la série sont calculés au moyen des équations suivantes:

$$X_1 = (0,54 * x_1) + (0,46 * x_2)$$
$$X_2 = (0,25 * x_1) + (0,50 * x_2) + (0,25 * x_3)$$
$$X_{n-1} = (0,25 * x_{n-2}) + (0,50 * x_{n-1}) + (0,25 * x_n)$$
$$X_n = (0,54 * x_n) + (0,46 * x_{n-1})$$

Ces moyennes mobiles ont été ensuite centrées et réduites à partir de la formule suivante :

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

Avec, I_p : indice pluviométrique, X_i : total pluviométrique pondéré de l'année i , \bar{X} : pluviométrie moyenne sur la période d'étude, σ : écart type de la série pluviométrique sur la période d'étude. Le déficit correspond à $I_p < 0$ et l'excédent à $I_p > 0$.

Des gammes standard des valeurs des indices notées SPI⁸ permettent d'apprécier l'ampleur de la sécheresse (ou de l'humidité) pour chacune des années de la série chronologique (Agnew 2000) (cf. Tableau 5).

Le pourcentage d'années concernées par chaque classe peut être déterminé à partir de l'équation suivante :

$$A_i = \frac{n_i}{N} * 100$$

⁸ Standardized Precipitation Index ou SPI est équivalent à I_p

Où A_i est le pourcentage des années concernées par la classe i , n_i est le nombre d'année de la classe i et N le nombre total d'année sur la période d'étude. Le phénomène dominant sur l'ensemble de la série pluviométrique est enfin obtenu pour la gamme SPI pour laquelle on enregistre le pourcentage le plus élevé.

Tableau 5 : Différentes classes des gammes des valeurs des indices (SPI) et leur signification

N° classe	Classe SPI	Interprétation
1	$SPI > 2$	Humidité Extrême
2	$1 < SPI < 2$	Humidité Forte
3	$0 < SPI < 1$	Humidité Modérée
4	$-1 < SPI < 0$	Sécheresse Modérée
5	$-2 < SPI < -1$	Sécheresse Forte
6	$SPI < -2$	Sécheresse Extrême

Source: Wu *et al.*, 2005

b. Ruptures au sein des séries pluviométriques

Une « rupture » peut être définie par un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un instant donné le plus souvent inconnu (Lubes *et al.*, 1998). Le choix des méthodes retenues repose sur la robustesse de leur fondement et sur les conclusions d'une étude de simulation de séries (Lubes *et al.*, 1998). Les tests de ruptures utilisés sont basés sur la méthode de Pettitt, de Lee et Heghinian et de Hubert. Ils viennent en appont aux indices pluviométriques.

Les tests de Pettitt et de Lee et Heghinian détectent une seule rupture au maximum tandis que la segmentation de Hubert permet d'en détecter plusieurs si elles existent dans une série chronologique de données. Ces tests sont regroupés dans le logiciel Khronostat 1.01 développé par l'Institut français de Recherche pour le Développement (IRD). Ils avancent comme hypothèse nulle, l'absence d'une rupture dans la série (x_i) de taille N .

- Le test de Pettitt est non-paramétrique et dérive du test de Mann-Whitney. Si l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture sera effectuée. (Pettitt, 1979).
- La méthode bayésienne de Lee et Heghinian propose une approche paramétrique. Elle nécessite une distribution normale des valeurs de la série. La méthode établit la distribution de probabilité a posteriori de la position dans le temps d'un changement. Lorsque la distribution est uni modale, la date de la rupture est estimée par le mode avec d'autant plus de précision que la dispersion de la distribution est faible. (Lee et Heghinian, 1977).
- La procédure de segmentation de séries chronologiques est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne si bien que la série pluviométrique est stationnaire. Elle fournit au moyen d'un algorithme spécifique une ou plusieurs dates de rupture qui séparent des segments contigus dont les moyennes sont significativement différentes au regard du test de Scheffé. (Hubert *et al.*, 1989).

c. *Tendance pluviométrique*

Deux types de test ont été choisis pour l'étude de la tendance pluviométrique: -le test de corrélation de Pearson pour Betioky Sud du fait que le nombre d'année d'observation n y était supérieur à 30 ($n=66$) -et le test de corrélation de rang Spearman pour Bezà Mahafaly vu que le nombre d'année d'observation n y était inférieur à 30 ($n=11$). Ces tests avancent une hypothèse nulle qui stipule que la hauteur des précipitations ou le nombre de jour de pluie reste stationnaire au cours de la période d'observation. Autrement dite, l'hypothèse nulle signifie que la tendance n'est pas significative. Une valeur négative du coefficient de corrélation signifie une tendance à la diminution des précipitations ou du nombre de jours de pluie et une valeur positive stipule par contre une augmentation de celles ou de celui-ci.

3.3.1.2. Traitements des données sur la température

Le test de corrélation de rang Spearman a été utilisé pour étudier l'évolution de la température. Ce test vérifie le caractère stationnaire de la série de température. L'hypothèse alternative de ce test est celle d'une tendance. Une valeur négative du coefficient de corrélation signifie une diminution de la température durant la période d'observation ; une valeur positive stipule par contre une augmentation de celle-ci. La date de déviation de la température sera obtenue grâce à la méthode du maximum de vraisemblance.

3.3.2. *Traitements et analyses des données phénologiques*

3.3.2.1. Traitements des données phénologiques

Les données phénologiques ont été organisées et traitées de telle manière que l'estimation du pourcentage des individus en feuille/fleur/fruit pendant une période donnée, l'estimation de la date de début/fin de feuillaison/ défeuillaison soient facilitées. En effet, l'estimation de ces valeurs est utile à l'étude de l'influence du climat sur le nombre d'individu en feuille/fleur/fruit ; sur la date de début/fin de feuillaison/défeuillaison ; sur la durée de feuillaison/défeuillaison. Elle sert aussi à établir une sorte de diagramme indiquant pour chaque observation les espèces qui sont susceptibles de porter les feuilles, les fleurs, les fruits (cf. Annexe 6, Annexe 7).

- **Le pourcentage des individus en feuille/fleur/fruit**

Le pourcentage des individus en feuille/fleur/fruit a été calculé par rapport au nombre d'individus vivants suivis.

- **La date de début de feuillaison ou fin de défeuillaison**

La présente étude considère que le début de feuillaison correspond à la première apparition de bourgeon. La date de début de feuillaison se coïncide avec la date de fin de défeuillaison.

Si au quinzième jour du mois, une notation « 1 » a été attribuée à un arbre ayant eu une notation « 0 » durant l'observation antérieure adjacente, cette date a été prise comme étant la date de début de feuillaison. Or durant ce jour, le bourgeon pourrait déjà être installé quelques jours avant, ce qui limite

la précision de la date de début de feuillaison. La même limite se présente pour toutes déterminations de date dans la présente étude.

Dans d'autre cas, si pour ce même jour, une notation « 2 » a été donnée pour l'arbre alors que pendant l'observation antérieure sa notation était « 0 », la date de début de feuillaison a été estimée par la moyenne de date d'apparition de ces deux événements.

- **La date de fin de feuillaison ou de début de défeuillaison**

Le début de la défeuillaison a été considéré comme la première tombée des feuilles. Si le stade « 3 » succédait le stade « 2 » alors le jour d'observation de ce stade a été pris comme étant le jour de début de défeuillaison.

- **Durée de la défeuillaison et de la feuillaison**

Stade « 3 »+ stade « 0 » : Défeuillaison

Stade « 1 »+ stade « 2 » : Feuillaison

Ainsi,

$$\text{Durée défeuillaison} = \text{fin défeuillaison} - \text{début défeuillaison}$$

$$\text{Durée feuillaison} = 365 \text{ jours} - \text{durée défeuillaison}$$

3.3.2.2. Corrélation entre le climat et les phénophases

L'influence de la pluie sur la feuillaison/floraison/fructification a été analysée à l'aide d'un test de corrélation de rang Spearman. La corrélation du pourcentage des individus présentant des feuilles/leurs/fruits avec le cumul moyen des précipitations (depuis janvier 2005 au mars 2011) ont été testées. Ce type de test a été aussi utilisé pour l'analyse de l'influence de la température moyenne sur la feuillaison/floraison/fructification.

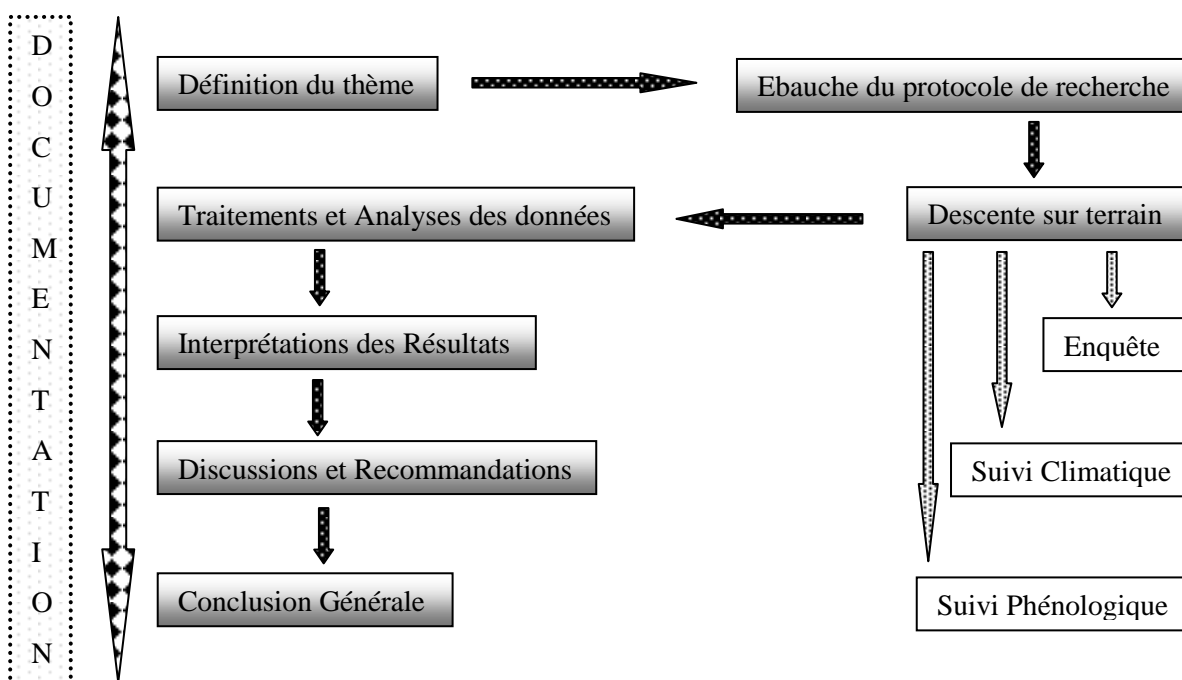


Figure 2 : Démarche Méthodologique



Commiphora brevicalyx

RESULTATS ET INTERPRETATIONS



Allaudia procera

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

1. VARIABILITE CLIMATIQUE

1.1. Variabilité pluviométrique

1.1.1. Caractéristiques générales de la Pluviométrie

Entre 1929-1995 trois périodes extrêmes ont été détectées : les périodes les moins pluvieuses de 1936-1937 (201,1mm), 1991-1992 (212,1mm) et la période la plus pluvieuse de 1953-1954 (1229,5mm) (cf. Figure 3). La pluie moyenne interannuelle est de $645,17 \pm 210,96$ mm dont $557,66 \pm 198,99$ mm tombent en saison humide. Le nombre annuel de jour de pluie varie de 25 jours (1948-1949) à 88 jours (1938-1939). Sa valeur moyenne est de $54,12 \pm 13,57$ jours.

Entre 1999-2010, les totaux pluviométriques oscillent entre 182 mm et 975,9 mm, la pluie moyenne interannuelle est de $460,44 \pm 216,87$ mm dont $442,32 \pm 247,78$ mm tombent en saison humide. Les années climatiques 2004-2005 et 2009-2010 se présentent respectivement comme les moins pluvieuses et les plus pluvieuses de la période 1999-2010 (cf. Figure 3). Le nombre de jour de pluie varie de 23 jours (2009-2010) à 73 jours (2000-2001). Sa valeur moyenne est de $40,47 \pm 15,57$ jours.

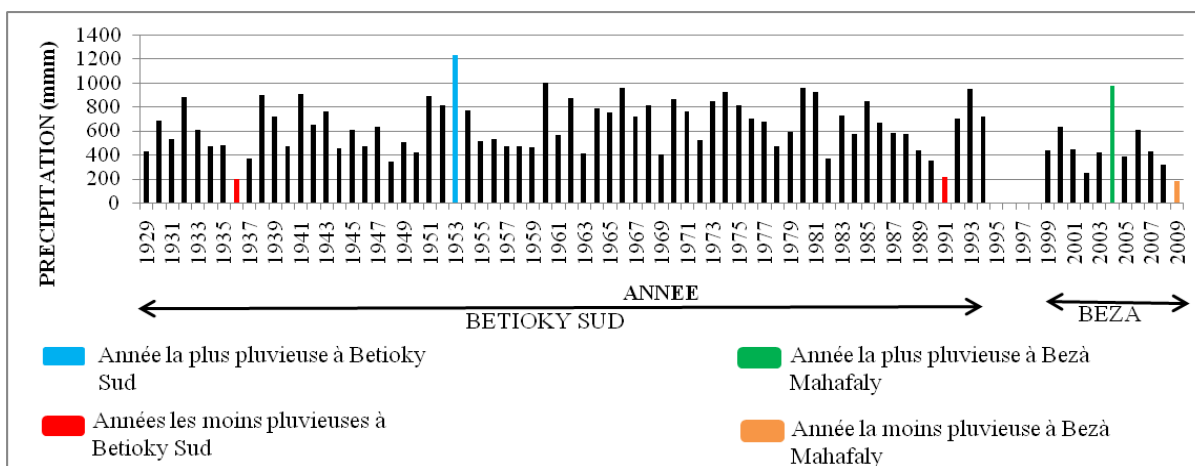


Figure 3 : Variation annuelle des précipitations totales de 1929-2009

1.1.2. Excédents et Déficits pluviométriques, Ampleur de l'Humidité et de la Sécheresse

Par rapport à l'évolution de l'indice pluviométrique, la zone d'étude est caractérisée par une alternance d'excédent et de déficit pluviométrique. En effet, un régime pluviométrique excédentaire est indiqué par des indices pluviométriques positifs où les pluies annuelles sont supérieures à la moyenne interannuelle. Un régime pluviométrique déficitaire est par contre traduit par des indices pluviométriques négatifs. Le déficit pluviométrique peut persister jusqu'à sept ans (1944-1950). (cf. Figure 4).

Sur la base de la gamme standard des indices (SPI), l'humidité et la sécheresse dans la zone d'étude revêtent un caractère globalement modéré. Néanmoins, un nombre d'années non négligeable a subi de

forte sécheresse et de sécheresse extrême. Entre 1929-1994, 38% des années d'observation ont subi une humidité modérée, 15% correspondent à un régime d'humidité forte et seulement 3% coïncident avec un régime d'humidité extrême. Concernant l'ampleur de la sécheresse, durant cette même période d'observation, 26% des années se déroulent sous un régime de sécheresse modérée, 15% correspondent à une sécheresse forte et 3% à une sécheresse extrême. Entre 1999-2009, 36% des années d'observation ont subi une humidité modérée et 18% correspondent à une humidité forte. A l'opposé, sur la même période, 27% des années d'observation se trouvent sous un régime de sécheresse modérée et les 18% restantes correspondent à un régime de sécheresse forte.

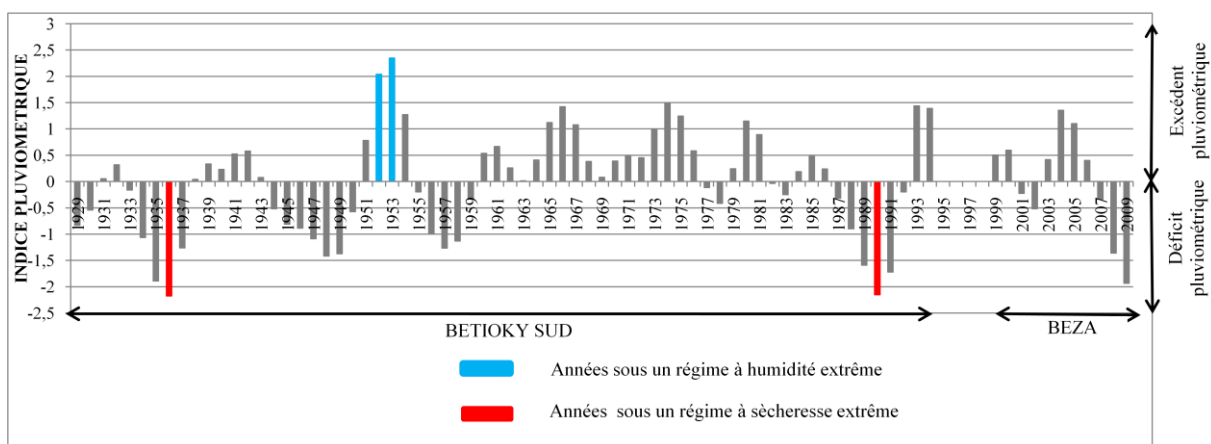


Figure 4 : Indice pluviométrique de 1929-2009

Le calcul des indices pluviométriques ont permis de matérialiser la variabilité climatique interannuelle ou l'alternance d'années sèches et d'années humides dans la zone d'étude. En effet, ces indices expliquent seulement la tendance du régime pluviométrique durant une période déterminée de la période d'observation mais ne donnent pas des informations précises et exactes sur une année donnée. A titre d'exemple, l'année climatique 1990-1991 incluse dans la période 1987-1992 à tendance pluviométrique déficitaire, est sous régime de sécheresse extrême en se basant aux indices pluviométriques alors que l'observation réelle indique que l'année la plus sèche de cette période est l'année climatique 1991-1992. La même interprétation pourrait être apportée pour la période à tendance pluviométrique excédentaire de 1951-1954, l'année climatique 1952-1953 est moins humide que l'année 1951-1952 selon l'observation alors qu'elle se présente comme une année sous régime d'humidité extrême au regard des indices pluviométriques.

Selon l'évolution de la valeur des indices, sept ruptures possibles se sont produites entre 1929-1994 : la période déficitaire de 1929-1937 ; la période excédentaire de 1938-1943 ; la période déficitaire de 1944-1950 ; la période excédentaire de 1951-1954 ; la période déficitaire de 1955-1959 ; la période excédentaire de 1960-1986, la période déficitaire de 1987-1992 et la période excédentaire de 1993-1994. La période 1999-2009 est caractérisée par une seule rupture possible : l'excédent pluviométrique

de 1999-2006 et le déficit pluviométrique de 2007-2009. Les tests de Pettitt, de Lee et Heghinian et de Hubert vont être appliqués pour trancher sur le nombre de ruptures pluviométriques à retenir.

1.1.3. Rupture du régime pluviométrique

L'application des tests de Pettitt et de Lee et Heghinian, sur la période 1929-1994, a permis de détecter une seule rupture en 1950 tandis que la segmentation de Hubert en a détectée trois ruptures : 1950, 1987, 1992. Ces ruptures sont en accord avec l'évolution des indices observée précédemment. Quatre segments dont les moyennes ont été significativement différentes au regard du test de Scheffé, ont pu alors être décelés. Avant 1950, la pluie moyenne annuelle est de 575,08 mm. Elle est passée de 702,82 mm entre 1951 et 1987. Ceci correspond à un excédent de 22%. Après 1987, la tendance a basculé à un déficit de 32% jusqu'en 1992. Entre 1993-1994, la pluie moyenne a rehaussé d'un excédent de 72%. (cf. Tableau 6). Entre 1999-2009, une seule rupture en 2007 a été détectée grâce aux tests de Lee et Heghinian et de Hubert. L'hypothèse nulle, absence de rupture, du test de Pettitt a été acceptée. Avant 2007, la pluie moyenne annuelle est de 508 mm. Elle est passée de 275,3 mm en 2008 soit un déficit pluviométrique de 46%.

Tableau 6 : Résultats des tests de détection de Ruptures

Test	1929-1994		1999-2009	
	Segment	Précipitation moyenne pour chaque segment (mm)	Segment	Précipitation moyenne pour chaque segment (mm)
Test de Pettitt	1929-1950	575,077	-	-
	1951-1994	670,053	-	-
Test de Lee et Heghinian	1929-1950	575,077	1999-2007	508
	1951-1994	670,053	2008-2009	275,3
Test de Hubert	1929-1950	575,077	1999-2007	508
	1951-1987	702,819	2008-2009	275,3
	1988-1992	479,94	-	-
	1993-1994	827,4	-	-

Soixante deux pourcent (62%) des années de la période 1929-1950 sont caractérisées par des sécheresses allant de modérée à extrême. Soixante quinze pourcent (75%) des années de la période 1951-1987 ont subi des régimes d'humidité allant de modérée à extrême. Entre 1988-1992, toutes les années sont concernées par des sécheresses variant de modérée à extrême. Les années 1993 et 1994 correspondent à des années à humidité forte. Entre 1999-2007, 67% des années sont des années à humidité variant de modérée à forte. Les années 2008 et 2009 sont des années à sécheresse forte.

Bref, 86% des précipitations de Betioky Sud et 96% des précipitations de Bezà Mahafaly sont tombées en saison humide. Cela prouve non seulement la variabilité intra-annuelle de la tombée des pluies dans la zone d'étude mais aussi la variabilité spatiale. Cette dernière pourrait être même sentie au niveau de la forêt xérophytique et de la forêt galerie de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. Les interprétations des indices pluviométriques et des segments de la série pluviométrique mettent en exergue la variabilité interannuelle des précipitations. Les précipitations de la zone d'étude sont alors variables mais une analyse de sa tendance générale justifiera si elle reste variable ou a changé.

1.1.4. Tendance pluviométrique

Les totales des pluies annuelles et des pluies par saison ne présentent pas de tendance significative (1929-1994 : $r=0,12$; $n=66$; $p=0,35 > 0,05$ / 1999-2009 : $r=-0,45$; $n=11$; $p=0,17 > 0,05$).

Entre 1929-1995, le nombre de jours de pluie ne présente pas de tendance significative au niveau annuel ($r=0,02$; $n=66$; $p=0,85$) (cf. Figure 5) et au niveau saisonnier (saison humide : $r=-0,04$; $n=66$; $p=0,74$; saison sèche : $r=0,15$; $n=66$; $p=0,24$). Entre 1999-2010, La tendance du nombre annuel de jours de pluie est à la diminution significative ($r_s=-0,68$; $n=11$; $p=0,02$) (cf. Figure 6). Une tendance à l'augmentation de l'intensité de pluie pourrait être conclue entre 1999-2010 vu que la précipitation totale restait stationnaire durant cette période. Cependant, cette tendance à l'augmentation de l'intensité de pluie n'a pas été significative. La tendance du nombre de jours de pluie par saison, de 1999-2010, n'a pas été significative (saison humide : $r_s=-0,50$; $n=12$; $p=0,10$ / saison sèche : $r_s=0,33$; $n=12$; $p=0,29$).

La série pluviométrique est stationnaire, la série de nombre de jours de pluie est stationnaire de 1929-1995 et présente une tendance à la diminution de 1999-2010. La modification sur le nombre de jours de pluie ne concerne que la dernière décennie. Ainsi, il pourrait être déduit que les précipitations restent variables.

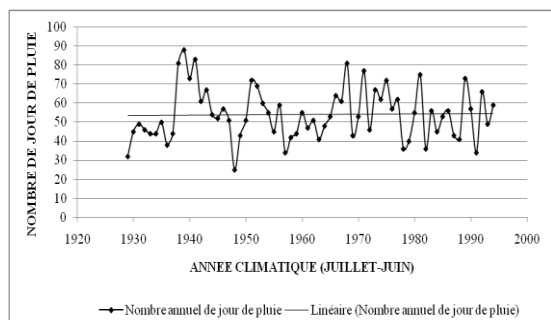


Figure 5 : Variation annuelle du nombre de jours de pluie de 1929-1995 et sa tendance linéaire

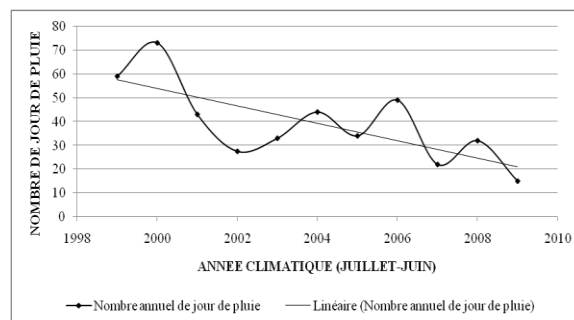


Figure 6 : Variation annuelle du nombre de jour de pluie de 1999-2010 et sa tendance linéaire

1.2. Variabilité de la température

La température moyenne interannuelle de la station est de $26,07 \pm 0,39$ °C. La température la plus élevée est toutefois observée en novembre 2006, elle a pu atteindre 49°C. La température la plus basse est enregistrée durant le mois de juin et de juillet, elle descend jusqu'à 4°C. La moyenne annuelle des températures maximales varie entre 34,1°C et 38,2°C et celle des températures minimales est comprise entre 14,8°C et 18°C. L'amplitude thermique moyenne annuelle varie de 16,3 °C à 23 °C. Elle est d'autant plus remarquable pour la saison sèche que la saison humide. En effet, la valeur de l'amplitude thermique s'élève en saison sèche et diminue en saison humide.

La température moyenne annuelle présente une tendance à la diminution significative ($r_s=-0,85$; $n=11$; $p=0,01$) (cf. Figure 7). La température maximale annuelle décroît significativement ($r_s=-0,70$; $n=11$; $p=0,02$) alors que la température minimale annuelle s'accroît ($r_s=0,65$; $n=11$; $p=0,03$). (cf.

Figure 8, Figure 9) Ces changements ont commencé en 2003. L'étude de l'évolution de la température n'a été menée que sur une décennie. Ni la variabilité interannuelle de la température, ni le changement de la température ne pourrait alors être conclu de cette étude.

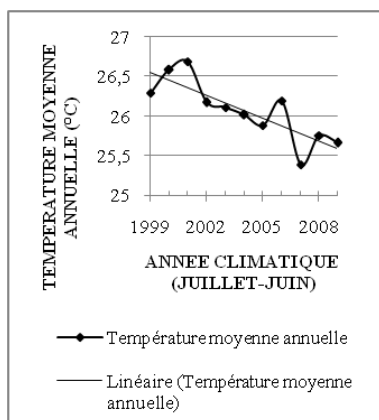


Figure 7 : Variation de la température moyenne annuelle et sa tendance linéaire (1999-2010)

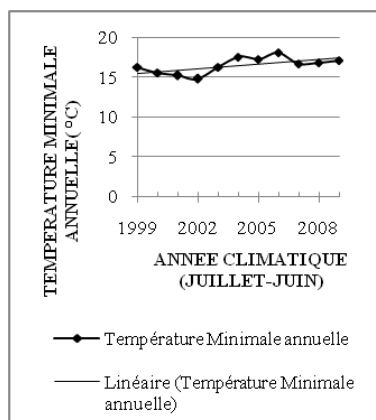


Figure 8 : Variation de la température minimale annuelle et sa tendance linéaire (1999-2010)

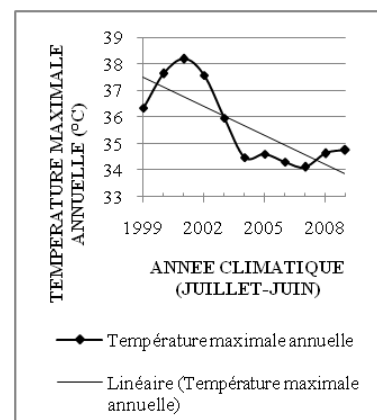


Figure 9 : Variation de la température maximale annuelle et sa tendance linéaire (1999-2010)

Il faut noter que la tendance de la température annuelle n'était pas significative pour les deux saisons. La température minimale présente une augmentation significative durant la saison sèche mais non significative durant la saison humide. De même, la température maximale tend à une diminution significative durant la saison sèche mais non durant la saison humide. Ce qui amène à conclure que la tendance durant la dernière décennie concerne surtout la saison sèche.

2. PHENOLOGIE DES PLANTES

2.1. Feuillaison

Les stades de feuillaison rencontrés durant les observations sont : - le stade 0 : sans feuille - le stade 1 : bouton foliaire - le stade 2 : feuille épanouie et abondante - le stade 3 : jaunissement et chute de première feuille. Seuls les stades bouton foliaire et feuille abondante ont été distingués pour quatre (4) espèces parmi les 14 suivies dans la parcelle I et pour deux (2) espèces parmi les 19 suivies dans la parcelle II. Ces espèces présentent alors des feuilles toute l'année et elles sont : *Salvadora angustifolia*, *Azima tetracantha*, *Euphorbia tirucalii*, *Euphorbia rutembergianum*, *Quivisianthe papionae*. Parmi ces espèces, seul le genre *Euphorbia* a été attribué de notation -1, les autres n'ont eu que la notation -2. Ainsi, l'apparition de bouton foliaire est plus remarquable pour le genre *Euphorbia* que pour les trois autres genres où elle n'est que de courte durée (inférieur à 15 jours). A part ces cinq espèces, toutes les espèces suivies sont à feuilles décidues. (cf. Annexe 6, cf. Annexe 7).

2.1.1. Début de feuillaison

Dans la forêt galerie, la date moyenne de début de feuillaison est le 01 novembre \pm 12 jours. L'espèce la plus précoce est *Acacia bellula*, la date moyenne de début de sa feuillaison est 22 juillet \pm 45 jours.

Ce qui témoigne une grande variabilité interannuelle chez cette espèce. Une faible variabilité est par contre très notoire chez *Tamarindus indica* et *Commiphora aprevalii*. (cf. Figure 10). La date moyenne de début de feuillaison pour les espèces de la forêt xérophytique est le 06 novembre \pm 8 jours. Les « box plots » se recouvrent quasi mutuellement, ce qui affirme d'une faible variabilité de la date d'apparition de feuille entre les espèces. (cf. Figure 11).

Le début de feuillaison varie de juin à décembre dans la forêt galerie et de septembre à décembre dans la forêt xérophytique. Ce qui témoigne que le début de feuillaison présente une faible variabilité interspécifique pour la forêt galerie que la forêt xérophytique.

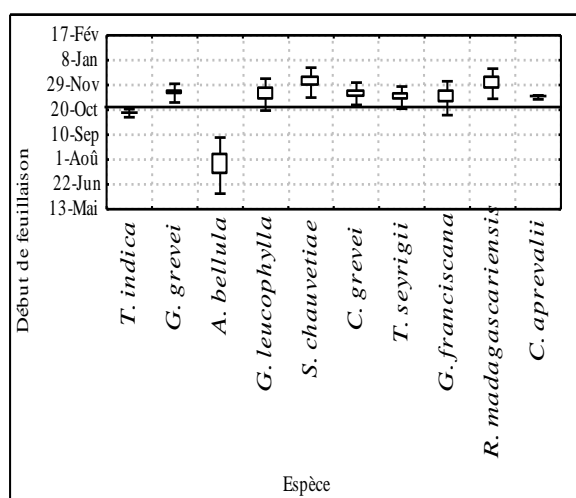


Figure 10 : Date de début de feuillaison dans la forêt galerie

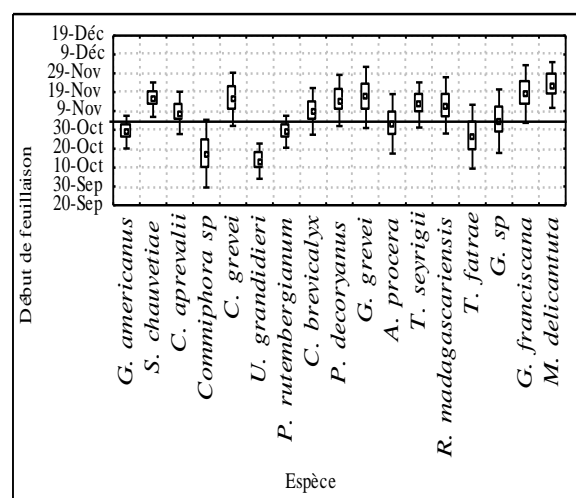


Figure 11 : Date de début de feuillaison dans la forêt xérophytique

2.1.2. Fin de feuillaison

La date moyenne de fin de feuillaison ou de début de défeuillaison est le 03 juillet \pm 22 jours dans la forêt galerie. *Commiphora aprevalii* est l'espèce la plus précoce concernant la défeuillaison (25 mars \pm 8 jours) alors que *Rhigozum madagascariensis* en est la plus tardive (.15 septembre \pm 54 jours). La forme rétrécie des « box plots » indique une faible variabilité interannuelle de la date de début de défeuillaison, c'est le cas de *Cedrelopsis grevei* et *Commiphora aprevalii*. *Rhigozum madagascariensis* présente une variabilité interannuelle remarquable, le début de sa défeuillaison situait au mois de novembre pour les années 2005 et 2006 et s'est oscillé autour du mois de juillet et du mois d'août pour les autres années de suivi. (cf. Figure 12).

Les dates de fin de feuillaison se sont regroupées autour d'une valeur moyenne, le 19 mai \pm 14 jours pour la forêt xérophytique. La date de fin de feuillaison la plus hâtive est celle de *Gyrocarpus americanus* (18 mars \pm 5 jours) et de *Commiphora brevicalyx* (18 mars \pm 7 jours). La date de fin de feuillaison la plus attardée appartient à *Phyllanthus decoryanus* (3 août \pm 30 jours). *Gyrocarpus americanus*, *Commiphora brevicalyx*, *Commiphora aprevalii*, *Pachypodium rutenbergianum*, *Allaudia procera* sont les espèces présentant la plus faible variabilité interannuelle de la date de début

de défeuillaison. Les autres espèces dont les « box plots » sont plus larges correspondent à des espèces ayant des dates de fin de feuillaison plus variable annuellement. (cf. Figure 13).

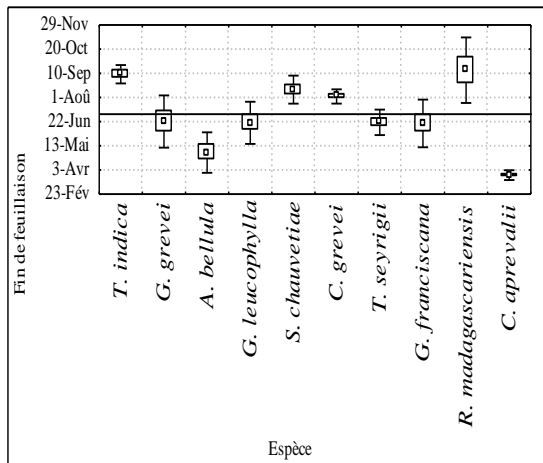


Figure 12 : Date de début de défeuillaison dans la forêt galerie

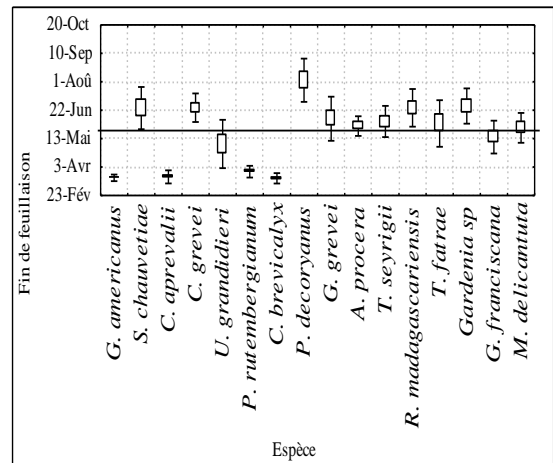


Figure 13 : Date de début de défeuillaison dans la forêt xérophytique

2.1.3. Durée de la feuillaison/défeuillaison

La durée moyenne de feuillaison de toutes espèces confondues est de 238 jours \pm 26 jours pour la forêt galerie, celle de la défeuillaison est alors de 127 jours \pm 26 jours. *Commiphora aprevalii* présente la plus longue durée de défeuillaison donc la plus courte durée de feuillaison. La plus courte durée de défeuillaison ou la plus longue durée de feuillaison revient à *Tamarindicus indica*. La variation annuelle de la durée de feuillaison/défeuillaison est faible pour *Tamarindus indica*, *Acacia bellula*, *Syregada chauvetiae*, *Cedrelopsis grevei*, *Commiphora aprevalii* (« box plots » à forme rétrécie) (cf. Figure 14).

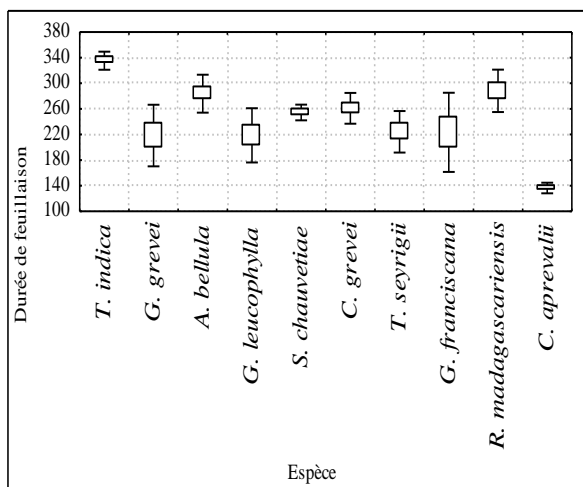


Figure 14 : Durée de la feuillaison dans la forêt galerie

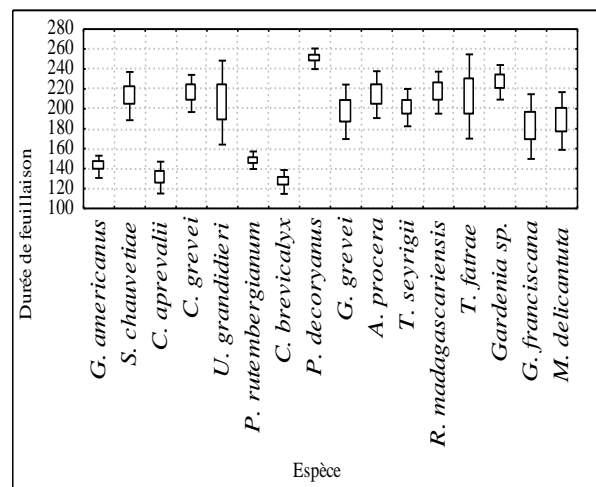


Figure 15 : Durée de la feuillaison dans la forêt xérophytique

Pour la forêt xérophytique, la feuillaison dure en moyenne 191 jours \pm 15 jours et la défeuillaison 174 jours \pm 16 jours. L'espèce à plus longue durée de feuillaison (plus courte durée de défeuillaison) est *Phyllanthus decoryanus* et celle à plus courte durée de feuillaison (plus longue durée de défeuillaison) est *Commiphora brevicalyx*. *Uncarina grandidieri* et *Terminalia fatrae* présentent une grande variabilité interannuelle concernant ces durées (« box plots » les plus élargis) (cf. Figure 15).

2.1.4. Saison de la feuillaison

Dans la forêt galerie, le nombre d'arbres avec feuille s'accroît au mois de novembre pour atteindre sa valeur maximale au mois janvier puis décroît jusqu'à sa valeur minimale au mois de septembre. (cf. Figure 16). Dans la forêt xérophytique, le pourcentage d'individus avec feuille augmente en novembre pour atteindre sa valeur maximale au mois de février puis redescend jusqu'à sa valeur minimale au mois septembre. (cf. Figure 17).

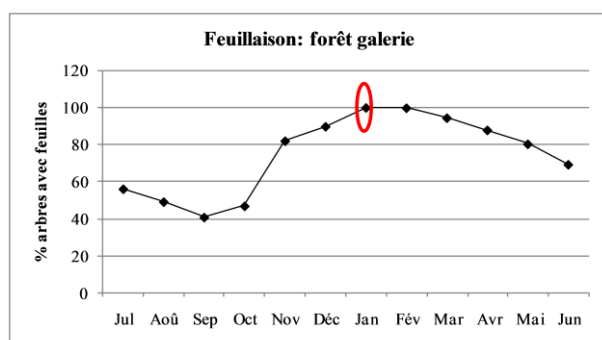


Figure 16 : Pourcentage des arbres avec feuilles depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt galerie

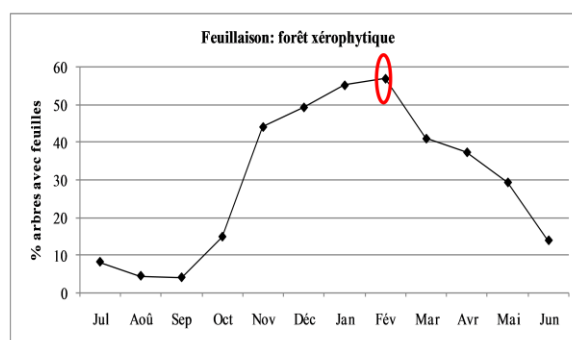


Figure 17 : Pourcentage des arbres avec feuilles depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt xérophytique

En bref, le cycle de la feuillaison suit le rythme de la saison : tombée des feuilles durant la saison sèche et apparition des feuilles durant la saison humide. Le stade sans feuille est surtout rencontré à la fin de saison sèche ; l'apparition de bouton foliaire marque le début de saison humide ; le stade feuille abondante caractérise la saison humide et la défeuillaison commence dès le début de la saison sèche.

2.2. Floraison

Dans la forêt galerie, le pourcentage d'individus ayant des fleurs augmente au mois de juillet et prend sa valeur maximale au mois d'août à partir duquel il décroît jusqu'à sa valeur minimale au mois de février. (cf. Figure 18). Dans la forêt xérophytique, le pourcentage d'individus ayant des fleurs augmente aussi au mois de juillet mais n'atteindra pas sa valeur maximale qu'au mois de septembre à partir duquel il décroît jusqu'à sa valeur minimale au mois de février. (cf. Figure 19).

En bref, la floraison se déroule surtout à la fin de la saison sèche. Toutefois, elle peut se rencontrer toute l'année car la saison de floraison varie suivant l'espèce. (cf. Annexe 6). Les boutons floraux apparaissent le plus au mois de juillet-août. Il faut noter que la floraison n'a pas été observée pour

beaucoup d'espèces de la forêt xérophytique. La durée de la floraison de ces espèces pourrait être très courte (inférieure à 15 jours) de telle manière qu'elle n'a pas pu être soupçonnée. (cf. Annexe 7).

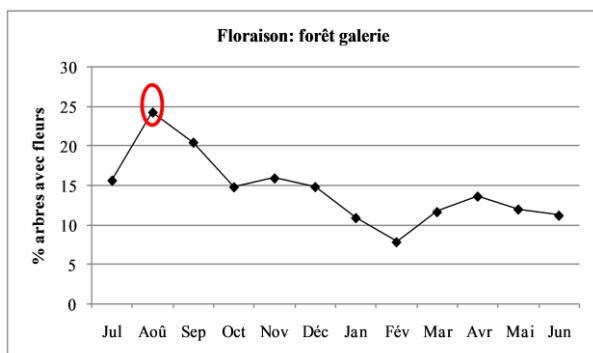


Figure 18 : Pourcentage des arbres avec fleurs depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt galerie

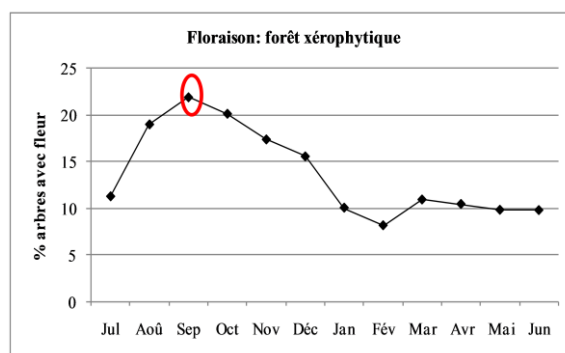


Figure 19 : Pourcentage des arbres avec fleurs depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt xérophytique

2.3. Fructification

La production de fruit est deux fois par année. Dans la forêt galerie, le nombre d'individu portant des fruits est maximal aux mois d'octobre et de janvier. (cf. Figure 20). Dans la forêt xérophytique, le pourcentage d'arbres ayant des fruits est maximal aux mois de novembre et de février. (cf. Figure 21).

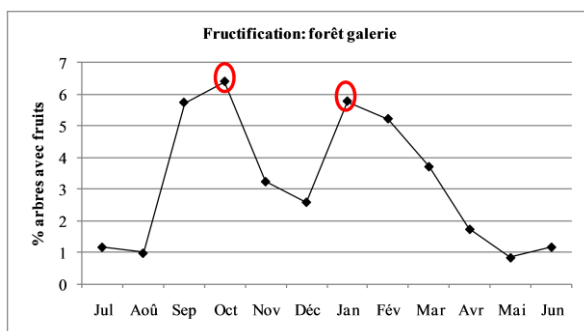


Figure 20 : Pourcentage des arbres avec fruits depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt galerie

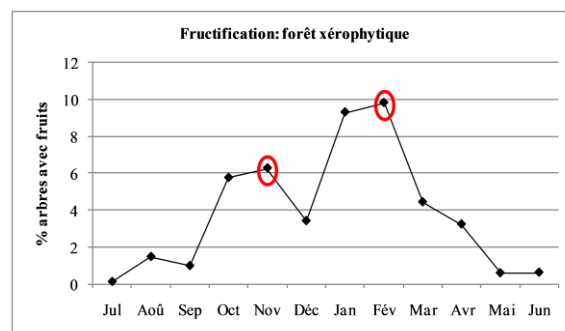


Figure 21 : Pourcentage des arbres avec fruits depuis janvier 2005 au mars 2011 dans la forêt xérophytique

En bref, la production de fruit est alors abondante juste avant la saison humide et en plein saison humide. Elle est en retard d'environ un mois pour la forêt xérophytique par rapport à la forêt galerie.

3. INFLUENCE DU CLIMAT SUR LA PHENOLOGIE

3.1. Précipitations et feuillaison

Les feuilles sont abondantes quand les précipitations sont abondantes. En effet, 94% de l'augmentation du nombre d'arbres avec feuilles dans la forêt xérophytique sont expliqués par l'augmentation des précipitations. Cette valeur n'est que de l'ordre de 84% pour la forêt galerie. (Forêt galerie : $r_s=0,84$; $n=12$; $p<0,05$; forêt xérophytique : $r_s=0,94$; $n=12$; $p<0,05$) (cf. Figure 22). Les

plantes se développent alors de façon optimale durant les périodes humides et s'adaptent à une condition de sécheresse en défeuillant. Elles réagissent donc soit en retardant sa défeuillaison (allongeant la durée de feuillaison) lors des années humides soit en avançant celle-ci (diminuant la durée de feuillaison) en cas des années sèches. Dans la figure 22, les bouts de chaque ligne verticale correspondent aux valeurs minimales et maximales du pourcentage d'arbres avec feuilles pendant un mois donné depuis janvier 2005-mars 2011. Les valeurs minimales et maximales coïncident respectivement avec les précipitations minimales et maximales de la période d'observation. Les écarts étroits entre ces deux valeurs signifient qu'il y a une faible variabilité interannuelle du nombre d'arbres avec feuilles, comme le mois de septembre et les écarts larges indiquent une grande variabilité.

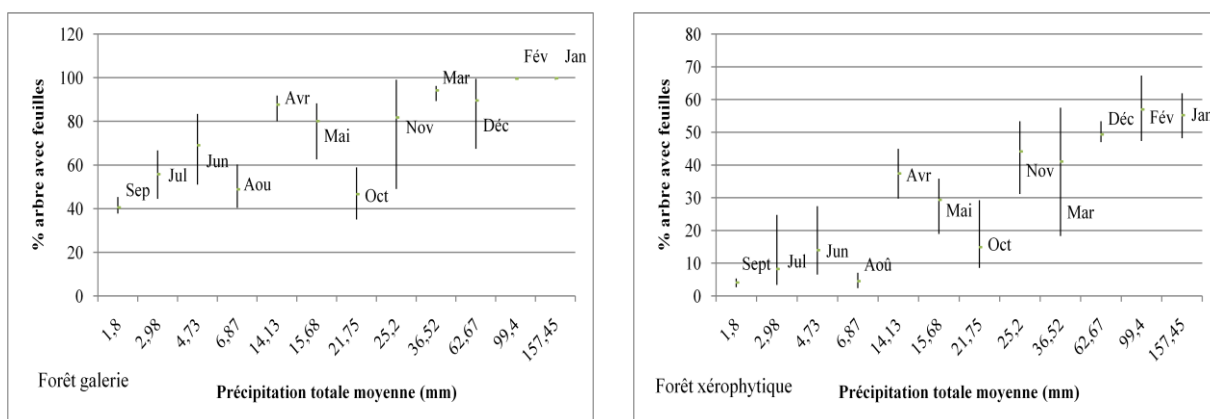


Figure 22 : Variation de la feuillaison en fonction de la variation des précipitations totales moyennes

Ainsi, il pourrait être conclu que :

- toutes les espèces présentant une grande variabilité interannuelle du début de feuillaison, de fin de feuillaison, de durée de feuillaison sont les espèces les plus vulnérables à la variabilité des précipitations. Elles avancent ou reculent le début ou la fin de leur feuillaison suivant la quantité des précipitations tombées. Ces espèces vulnérables sont : *Acacia bellula*, *Rhigozum madagascariensis*, *Grewia franciscana* pour la forêt galerie et *Commiphora* sp., *Uncarina grandidieri*, *Terminalia fatrae* pour la forêt xérophytique. Comme la liaison entre la feuillaison et les précipitations est plus significative pour la forêt xérophytique alors, les espèces de ce type de forêt sont plus vulnérables que celles de la forêt galerie.
- moins d'arbres ont feuillé dans la forêt de Bezà lors des sécheresses en 1936-1937 et en 1991-1992. Ils auraient dû avancer la date de début de leur défeuillaison durant ces périodes, ou diminuer la durée de leur feuillaison.
- si les variations du nombre d'arbres au cours des années sont négligeables, le nombre d'arbres avec feuilles lors de la saison humide des années 1953-1954, 2004-2005, 2010-2011 aurait été

élevé par rapport à celui des autres années. Il est à rappeler que ces années correspondent aux périodes les plus pluvieuses de la période 1929-2011.

- la variabilité climatique induit aussi de la variabilité phénologique. La période à tendance sèche de 1929-1950 correspondrait à un retard de la date de feuillaison, à une avancée de la date de défeuillaison, à une diminution de la durée de feuillaison ou à un allongement de la durée de défeuillaison. L'excédent pluviométrique de la période 1951-1987 correspondrait à un début de feuillaison précoce, à un début de défeuillaison tardif, à un allongement de la durée de la feuillaison. La période 1986-1992 est la période la plus sèche de 1929-1994, à part le retard de la feuillaison, l'avancée de la date de défeuillaison, l'allongement de la durée de défeuillaison, cette période correspondrait à moins d'arbres feuillés et à des morts probables de beaucoup d'individus (aussi bien végétal qu'animal).

Il faut noter qu'un décalage dans le temps de la feuillaison pourrait supprimer des espèces dépendant de la feuille pour sa survie. Et cela d'autant plus que si l'espèce en question ne dispose pas de moyen d'adaptation à la condition existante. *Propithecus verreauxi verreauxi* a pu s'adapter par exemple à la pénurie de nourriture suite à la sécheresse de 1991-1992 en diminuant eux-même leur reproduction. (Lawler *et al.*, 2009).

3.2. Précipitations et floraison

Aucune corrélation significative n'a été trouvée entre la floraison et les précipitations totales (forêt galerie : $r_s = -0,57$; $n = 12$; $p = 0,055$; forêt xérophytique : $r_s = -0,37$; $n = 12$; $p = 0,26$) (cf. Figure 23). L'étude de l'influence des précipitations sur la floraison aurait dû être menée en considérant les variations des précipitations au cours d'une saison ou d'un mois déterminé car la période de floraison varie beaucoup pour chaque espèce. En effet, la présente étude a considéré les variations des précipitations des années d'observations pour étudier l'influence des précipitations sur la floraison. C'est la raison pour laquelle la floraison n'a pas été influencée par les précipitations. Dans la figure 23, les bouts de chaque ligne verticale correspondent aux valeurs minimales et maximales du pourcentage d'arbres avec fleurs pendant un mois donné depuis janvier 2005-mars 2011. Les écarts étroits entre ces deux valeurs signifient qu'il y a une faible variabilité interannuelle du nombre d'arbres avec fleurs et les écarts larges indiquent une grande variabilité.

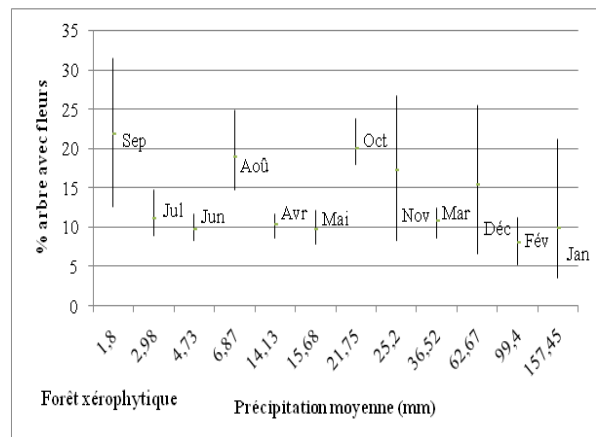
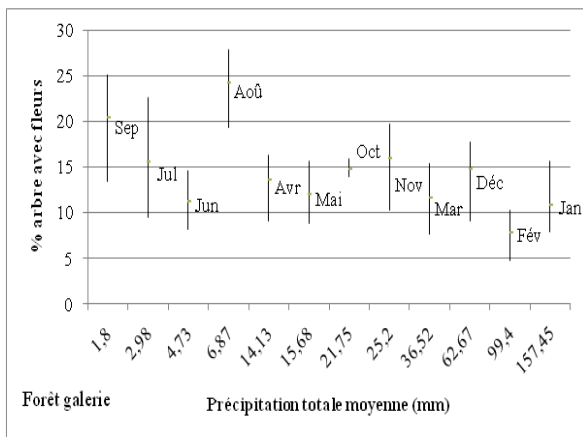


Figure 23 : Variation de la floraison en fonction de la variation des précipitations totales moyennes

3.3. Précipitations et fructification

La fructification n'est pas influencée par les précipitations dans la forêt galerie. Par contre, 83% de l'augmentation du nombre d'arbres avec fruit dans la forêt xérophytique sont expliqués par l'augmentation des précipitations. (Forêt galerie : $r_s=0,44$; $n=12$; $p=0,15$ / forêt xérophytique : $r_s=0,83$; $n=12$; $p<0,05$). (Cf. Figure 24). L'arbre a ainsi besoin d'une certaine humidité pour pouvoir débiter sa fructification. Si les précipitations n'ont pas eu d'influence sur la fructification de la forêt galerie et ont en eu pour la forêt xérophytique c'est que cette forêt récupère l'humidité dont elle a besoin pour fructifier dans la nappe souterraine de la rivière Sakamena. L'arbre avance ou recule alors sa fructification suivant la disponibilité en eau pour combler ce besoin. Dans la figure 24, les bouts de chaque ligne verticale correspondent aux valeurs minimales et maximales du pourcentage d'arbres avec fruits pendant un mois donné depuis janvier 2005-mars 2011. Les écarts étroits entre ces deux valeurs signifient qu'il y a une faible variabilité interannuelle du nombre d'arbres avec fruits et les écarts larges indiquent une grande variabilité.

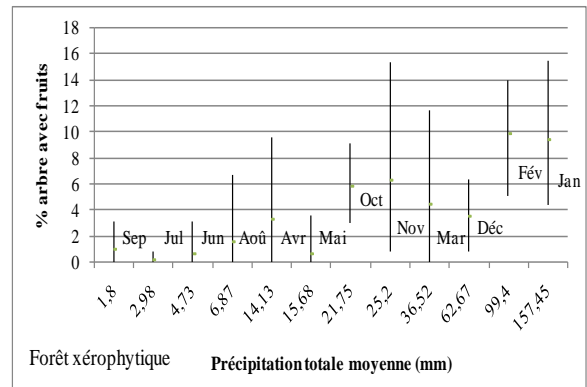
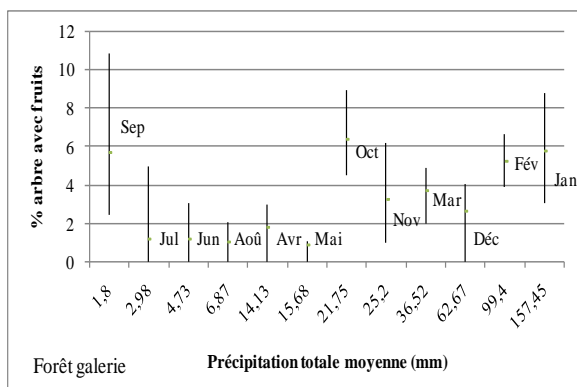


Figure 24 : Variation de la fructification en fonction de la variation des précipitations totales moyennes

Il a été vu plus haut que les arbres produisant des fruits sont nombreux durant la saison humide. C'est la raison pour laquelle la fructification de la forêt xérophytique serait liée à l'augmentation des

précipitations. Par contre, la fructification de la forêt galerie n'est pas influencée par cette augmentation car elle peut jouir à la fois de l'eau durant la saison humide et de l'eau de la nappe souterraine de la rivière Sakamena.

3.4. Température et feuillaison

Quand la température s'élève, le nombre d'arbres avec feuilles augmente. Cependant, la liaison entre la température et la feuillaison n'est pas très intense car, 67% seulement de l'augmentation sont expliqués par l'accroissement de la température pour la forêt galerie. Cette valeur est de l'ordre de 83% pour la forêt xérophytique. (Forêt galerie : $r_s=0,67$; $n=12$; $p<0,05$; forêt xérophytique : $r_s=0,83$; $n=12$; $p<0,05$). (cf. Figure 25). Les arbres émettent des feuilles durant la saison humide où la température est élevée par rapport à celle de la saison sèche. Ils perdent par contre leurs feuilles durant la saison sèche. Les plantes s'adaptent donc au froid en perdant leurs feuilles. Aussi, la dernière décennie qui est à tendance froide dans la zone d'étude se traduirait par un allongement de la défeuillaison donc un retard du début de feuillaison ou une avance du début de défeuillaison. Si cette situation se poursuit dans les années à venir, l'habitat tout entier serait menacé. Vu que l'intensité de la liaison entre la température et la feuillaison est plus forte pour la forêt xérophytique, les espèces de ce type de forêt sont plus vulnérables que celles de la forêt galerie.

3.5. Température et floraison

Aucune corrélation significative n'a été trouvée entre la floraison et la température moyenne (forêt galerie : $r_s=-0,26$; $n=12$; forêt xérophytique : $p=0,42$; $r_s=0$; $n=12$; $p=1$) (cf. Figure 26) Cette situation s'explique par le fait que la floraison pourrait être rencontrée toute l'année. L'étude aurait dû être orientée en considérant aussi les variations de la température au cours d'une saison ou d'un mois déterminé.

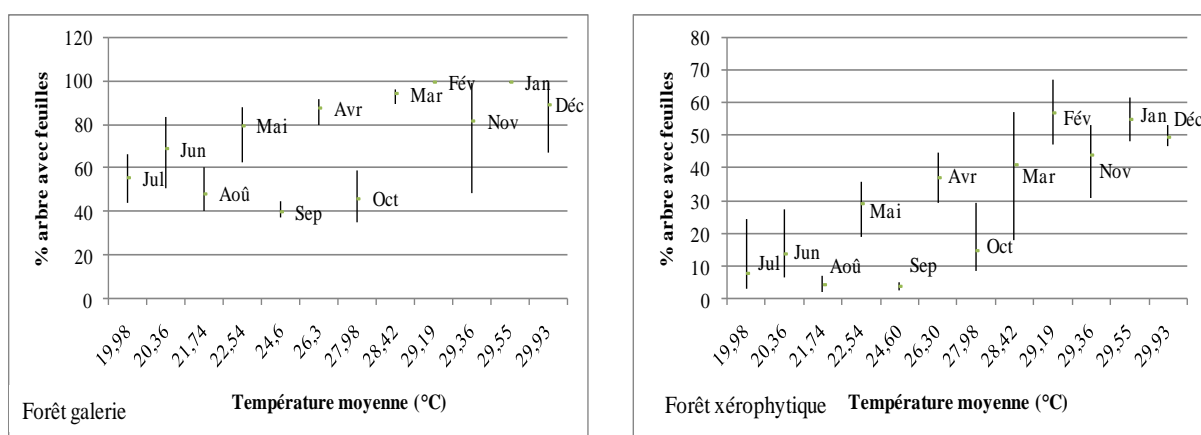


Figure 25 : Variation de la feuillaison en fonction de la température moyenne

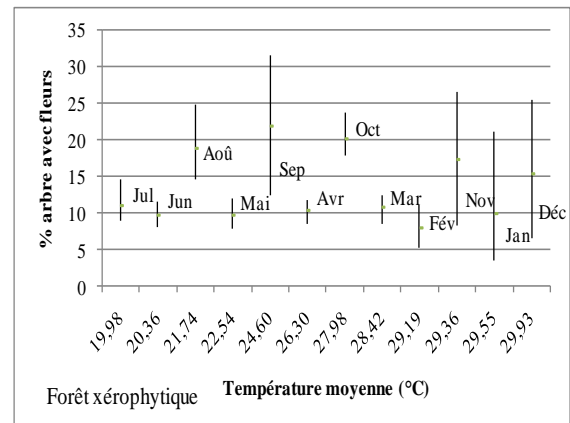
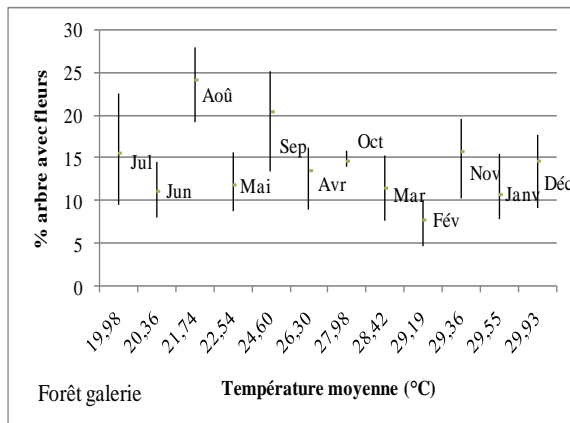


Figure 26 : Variation de floraison en fonction de la température moyenne

3.6. Température et fructification

Les fruits sont nombreux quand la température augmente mais il faut noter que cette fructification n'aura pas lieu qu'après l'atteinte du besoin d'humidité pour fructifier. Or 60% seulement de l'augmentation du nombre d'arbres avec fruits dans la forêt galerie sont expliqués par l'augmentation de la température. Cette valeur est de l'ordre de 83% pour la forêt xérophytique. (Forêt galerie : $r_s=0,60$; $n=12$; $p<0,05$; forêt xérophytique : $r_s=0,83$; $n=12$; $p<0,05$) (cf. Figure 27). Ce qui explique que l'arbre a aussi besoin d'une certaine chaleur pour pouvoir fructifier. L'arbre avance ou recule alors sa fructification suivant l'atteinte de ce besoin en chaleur.

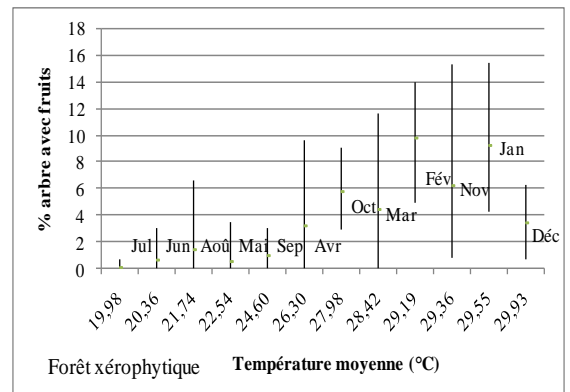
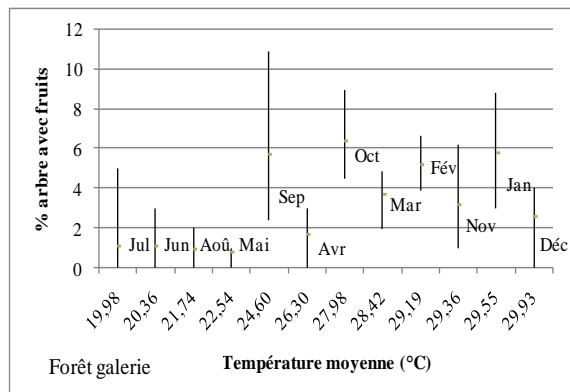


Figure 27 : Variation de la fructification en fonction de la température moyenne

3.7. Perception villageoise de l'influence du climat sur la phénologie

Selon les enquêtés, à chaque saison convient des événements phénologiques dominant : - le début de la saison humide⁹ est caractérisée par l'apparition de bouton foliaire ou floral – les trois derniers mois de la saison humide¹⁰ correspondent à des feuilles abondantes – le début de la saison sèche¹¹

⁹ Dénommée localement « lohataona »

¹⁰ Dénommée localement « asara »

¹¹ Dénommée localement « asotry »

correspond au début de la défeuillaison et à l'abondance des fruits – la fin de la saison sèche¹² est caractérisée par le stade sans feuille. Pour déterminer chaque saison, les gens locaux se servent de la phénologie de certaines plantes et de cris de certains animaux. Selon eux, quand *Albizzia sp* (Fabaceae) commence à fleurir c'est le début de la saison sèche où la température commence à décroître; quand *Boa madagascariensis* pousse des sifflements c'est le début de la saison humide. Plus de 50% des enquêtés ont affirmé que le climat de Bezà Mahafaly est caractérisé par une alternance périodique d'années humides et d'années sèches, les 50% restants considèrent que les années sont toutes sèches. La périodicité de cette alternance n'a pas pu être bien définie. L'année humide est caractérisée par des feuilles abondantes bien vertes alors que l'année sèche est marquée par l'apparition des feuilles vertes claires plus ou moins jaunes. Le décalage dans le temps de l'apparition des phénophases n'a pas été constaté par les gens locaux. Certains enquêtés considèrent que, si *Tamarindus indica* et *Salvadora angustifolia* produisent en abondance des fruits, l'année suivant cette année de production abondante sera une année sèche.

Selon la perception des villageois, la variabilité phénologique induite par la variabilité climatique pourrait se traduire par une variation de la coloration des feuilles : le déficit pluviométrique de la période 1929-1950 correspondrait à une forêt de couleur vert clair, l'excédent pluviométrique de la période 1951-1987 donnerait à la forêt une couleur verte plus foncée, une couleur verte claire encore plus pâle que celle de la période 1929-1950 coïnciderait au déficit pluviométrique de la période 1988-1992. Les périodes 1993-1994 et 1999-2007 correspondraient à une forêt bien verte et la période 2008-2009 est caractérisée par une forêt de couleur verte claire. La forêt est très verte lors de la descente sur terrain durant laquelle la pluie était abondante.

¹² Dénommée localement « faosa »



Euphorbia tirucalii

DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS



Pachypodium geayi

DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

1. DISCUSSIONS

1.1. Limite méthodologique

- Données climatiques

Les données sur Betioky Sud et de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly ont permis de caractériser la variabilité du climat aussi bien au niveau d'un district qu'au niveau local. La longueur de la série de données a constitué des informations relativement fiables pour estimer la nature du climat de la zone d'étude, sa variabilité. Les données issues de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly ont été supplémentées par des observations comme l'existence de passage cyclonique, l'état de l'eau dans la rivière Sakamena, l'état du ciel (nuageux ou non), l'intensité du vent, etc. Le seul souci résiderait dans l'estimation des valeurs manquantes des paramètres climatiques. Les valeurs de la température et de la précipitation pourraient être sous ou sur estimées. En effet, l'estimation par médiane suppose que la valeur de la température/précipitation serait la valeur qui sépare une série de données en deux parties égales. Ce qui n'est pas toujours le cas dans la réalité.

- Données phénologiques

Une assez longue durée de données a pu être obtenue, elle a permis une explication plus détaillée de la phénologie de la forêt de Bezà Mahafaly. Au cours des cinq (5) années de suivis, les plantes ont été observées par une même personne, la description de l'apparition des différents stades phénologiques ont été alors plus ou moins identiques au cours des observations. Ce qui augmenterait la cohérence des données. Les données ont formé une série longue mais discontinue. Une interruption en une seule observation a pu être palliée en connaissant les stades phénologiques durant les observations antérieures et postérieures. Par contre, les stades phénologiques incomplets pendant une longue interruption d'observation (deux ou plus de deux observations) n'ont pas pu être estimés. En effet, durant les périodes sans observations pourraient s'écouler deux (ou plus) stades phénologiques. La discontinuité des données demeure aussi dans le fait qu'un bon nombre d'arbres suivis sont morts.

- Descente sur terrain

La descente a permis non seulement de comprendre mais aussi de maîtriser l'installation technique d'un projet d'observation phénologique au sein d'une forêt. Elle a répondu aux questions relatives au choix de la placette d'observation, au choix d'espèces et d'arbres à suivre, au rythme d'observation, à la description des phénophases à suivre, ainsi qu'aux autres installations nécessaires à l'atteinte de l'objectif de suivi comme l'installation d'une station météorologique. D'autres informations, comme l'appréciation locale du climat et de la phénologie, utiles à l'atteinte de l'objectif ont pu être aussi obtenues lors de la descente sur terrain. La difficulté lors de la descente sur terrain ne réside que sur le suivi phénologique durant les pluies et la visite de certains villages à enquêter. En effet, durant et après la pluie, les plantes s'égouttent et de l'eau se dépose sur le paire de jumelle, ce qui empêche une bonne vision. La distinction entre les organes floraux et les fruits est parfois difficile si l'apparition de ces organes a lieu en période de feuille abondante. Toutefois, cette difficulté a pu être remédiée en utilisant des indices au sol. Il en est de même si les bourgeons floraux et foliaires apparaissent

simultanément, ils peuvent être confondus. L'augmentation du niveau de l'eau de rivière a fait obstacle à la visite de certains villages à enquêter, il fallait attendre sa diminution dans deux ou trois jours.

- Traitements et analyses des données

L'un des inconvénients de l'analyse aurait été d'avoir utilisé les données météorologiques de la station pour l'étude de l'influence du climat sur la phénologie des arbres de la forêt xérophytique. En effet, il a été présenté au début que la station a été installée au campement qui est à côté immédiate de la forêt galerie. Or une modification de la précipitation pourrait être sentie sur des variations de l'espace. Un emplacement de station météorologique à l'intérieure de la forêt xérophytique aurait été plus souhaité.

1.2. Variabilité climatique

Le climat de Madagascar est fortement variable à l'intérieur en raison de la superficie de l'île, de l'étendue de son altitude et de sa diversité topographique (Jury 2003). Cependant, la période humide se coïncide avec le passage du phénomène El Niño à Madagascar (Jury 2003), certaines régions de l'île sont touchées par des conditions de sécheresse avant et après le passage de El Niño (Ingram et Dawson 2005). Par exemple, le phénomène El Niño en 1981-1982 est accompagné de période de sécheresse aigüe dans la partie Sud de Madagascar en 1983. Selon les résultats de cette étude, l'année 1983 correspond à une sécheresse modérée. Cette différence paraît s'expliquer par la variabilité spatiale de la répartition de la précipitation. En effet, les côtes seraient plus sujettes au passage de El Niño par rapport à Bezà Mahafaly qui se trouve dans des terres plus intérieures. La même explication pourrait être attribuée au passage de El Niño en 1994-1995 qui a été associé d'une faible quantité de la précipitation suivie d'un grand déficit d'eau en 1995 touchant les deux-tiers de la partie sud de Madagascar (WMO 1998). C'est le phénomène El Niño qui explique l'alternance d'années humides et d'années sèches à Betioky Sud incluant Bezà Mahafaly.

La périodicité du passage du phénomène El Niño paraît expliquer la tendance horizontale du total pluviométrique dans la zone d'étude. En effet, la quantité faible de précipitation pendant une année donnée pourrait être compensée par la pluie apportée par un seul passage du phénomène El Niño. Le résultat de cette étude concernant la tendance du total pluviométrique est cohérent avec les observations de Rabefitia et Andriamampianina 1999. En effet, ces auteurs ont confirmé que la tendance linéaire de la précipitation totale restait stationnaire entre 1961-1990. En ayant ce résultat comme point de départ, Tadross *et al.*, 2008 ont fait une approche par saison pour analyser la tendance du climat. Ils ont affirmé qu'entre 1961-2005, des changements significatifs ont été détectés pendant l'hiver (juin-août) et le printemps (septembre-octobre-novembre). Le changement s'agit d'une diminution de la précipitation moyenne dans la région de Tuléar et une augmentation de la durée de la période sèche durant les deux saisons citées précédemment. L'approche par saison utilisée dans cette étude ne révèle aucune tendance significative pour aucune saison. Cela confirme que le climat est non seulement variable à l'échelle temporelle mais aussi à l'échelle spatiale qui pourrait varier au niveau

d'une région, d'un district (Betioky Sud) et au Niveau local (forêt xérophytique et forêt galerie de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly).

L'augmentation de la température minimale annuelle a été cohérente avec les observations de Tadross *et al.*, 2008. Ces auteurs ont prouvé que la température minimale a eu une tendance positive dans de nombreuses régions de Madagascar. Cette tendance a été significative à 99% des chances pour Tuléar. Ils ont estimé une augmentation de température minimale annuelle de $0,027\text{ }^{\circ}\text{C an}^{-1}$. L'augmentation de la température minimale se concorde avec les résultats de la présente étude mais le calcul de seuil d'augmentation n'a pas fait objet de cette étude. En se référant toujours à l'étude de Tadross *et al.*, 2008, la tendance négative de la température maximale annuelle n'a été significative qu'à Maevatanana et à Sambava. Bezà Mahafaly joint aussi alors ces deux régions. Pour la température moyenne, Rabefitia et Andriamampianina 1999 ont noté une augmentation de la température moyenne de la station Tuléar entre 1961 et 1990. Durant la dernière décennie la température moyenne de Bezà Mahafaly tend à diminuer. Ainsi, le changement aussi bien pour les températures minimales, maximales que moyennes à Bezà Mahafaly indique soit une variabilité du climat s'étalant sur une décennie soit un climat local particulier à cette zone.

1.3. Influence des précipitations sur la phénologie

La présente étude révèle que la phénologie peut varier dans le temps, dans différents types de végétations, à l'intérieur d'un type de végétation et même à l'intérieur d'une espèce. L'apparition de feuilles a été cohérente avec les observations de Sorg et Rohner à Marofandilia/Morondava en 2002. Ces auteurs ont trouvé que des pluies sont nécessaires pour induire le processus de feuillaison, quoique en quantités relativement peu importantes. Une pluviosité faible peut être corrélée avec une sénescence précoce des feuilles. Galoux *et al.*, 1967 remarquent qu'un déficit hydrique dans l'étage édaphique peut favoriser un jaunissement précoce. Dans l'étude de Reich et Borchert en 1984 dans une forêt tropicale sèche à Costa Rica, a été expliquée que le stress hydrique provoque une défeuillaison précoce. Ceci expliquerait la raison de l'avance dans le temps du début de défeuillaison pour la forêt xérophytique que pour la forêt galerie. En effet, cette dernière peut profiter de la réserve en nappe souterraine de la rivière Sakamena pour pouvoir garder un peu plus longtemps sa feuille.

1.4. Influence de la température sur la phénologie

En régions tropicales certains travaux ont mis l'accent sur les conditions hydriques. Le régime thermique relativement constant a malencontreusement été considéré comme moins déterminant. Il n'en n'est pas toujours ainsi. La simultanéité d'actions des facteurs ne permet pas d'attribuer à l'eau un rôle exclusif (Grouzis et Sicot, 1980); les espèces ligneuses présentant une indépendance beaucoup plus grande (que les herbacées) de leurs rythmes d'activité vis à vis de la période pendant laquelle l'eau est disponible dans le sol (Seghieri et Floret, 1991).

L'influence de la température et/ou du photopériodisme a fait l'objet de divers travaux (Njoku, 1963 ; Jackson, 1966; Specht et Yates, 1990). Jackson, 1966 établit une parfaite corrélation entre la floraison

et la somme des températures de l'air et Njoku, 1963 montre l'importance de l'influence du photopériodisme sur la phénologie à 0,254 m d'altitude en Afrique. Au bout de huit années d'étude sur le chêne (en zone tempérée), Nizinski et Saugier, 1988 formulent un modèle phénologique prédisant la date de débourrement en fonction de la température et du photopériodisme et établissent que le débourrement n'intervient que lorsque la somme des températures moyennes des 10 jours précédant l'évènement excède un seuil donné. Sorg et Rohner, 2002, ont abouti à une hypothèse qui stipule que le débourrement, quasiment terminé au solstice d'été, est plus fortement influencé par l'allongement des journées et/ou l'augmentation de la température. Autrement dite, les feuilles apparaissent quand la température augmente ce qui se concorde avec les observations dans la présente étude.

La saison de floraison et de fructification varie suivant l'espèce, c'est la raison pour laquelle des fleurs et des fruits ont pu être observés toute l'année. La corrélation entre la température et la floraison/fructification dans cette étude nécessiterait donc une vérification minutieuse. L'analyse aurait dû être menée en considérant chaque saison de l'année mais non l'année toute entière. Chapman *et al.*, 1999, ont trouvé que la fructification des arbres dans le parc national de Kibale en Ouganda est négativement corrélée avec la température minimale pour une saison déterminée.

2. RECOMMANDATIONS

2.1. Variabilité climatique

Le problème lié à la variabilité climatique dans le Sud et Sud Ouest de Madagascar réside dans le retour périodique de la sécheresse qui pourrait faire suite à une désertification. Face à ce problème, Madagascar a ratifié en 1997, la Convention des Nations Unies pour Lutter contre la Désertification (CNULD) et a élaboré par la suite un Plan d'Action Nationale de lutte contre la désertification (PAN). Ce PAN a été approuvé par le Gouvernement suivant le décret N° 2003-199 du 11 mars 2003. Il est mis en œuvre dans le grand Sud de l'île, dans la partie Sud Ouest, dans le Centre Ouest (Menabe et Nord du Menabe), la pointe Sud du Sud Est (c'est-à-dire une partie de l'Anosy). Ces diverses zones sont alors vulnérables à la variabilité climatique.

D'après le GIEC 2007, la vulnérabilité se définit comme la mesure dans laquelle un système est sensible ou incapable de faire face aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité à la variabilité climatique peut varier d'une espèce à une autre et d'une région à une autre. Les modifications au niveau des variables climatiques peuvent influencer largement sur la vulnérabilité des écosystèmes y compris la biodiversité.

La forêt de Bezà Mahafaly est vulnérable à la variabilité climatique du fait que l'aire constituant cet écosystème est restreinte comparée à la région Sud Ouest. De plus, les résultats obtenus lors de l'étude confirment que la forêt se dégrade (le nombre d'arbres avec feuilles diminue) quand la précipitation totale diminue. Pour pallier à ce problème un plan d'adaptation de l'écosystème forestier de Bezà

Mahafaly à la variabilité climatique pourrait être adopté. Le plan comprendra trois axes stratégiques qui consistent à:

- maintenir la forêt de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly. En effet, le maintien de la forêt mérite d'être renforcé car les dégradations continues des forêts ne feront qu'amplifier les conséquences de la variabilité climatique. Ce maintien consiste donc à renforcer la conservation de la forêt pour pouvoir sauvegarder une multitude d'espèces et d'atténuer ainsi les risques d'extinction.
- faire une restauration écologique pour contribuer à la résilience environnementale et à la conservation de la biodiversité vis à vis de la variabilité climatique. La restauration doit surtout viser en zones dégradées au sein de la Réserve et doit permettre la connectivité des fragments de forêt.
- améliorer les moyens de subsistance des communautés locales pour pouvoir conserver la biodiversité de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly.

2.2. Maintien de la forêt

Le maintien de la forêt consiste à rendre efficace les mesures de conservation et les différents suivi écologiques déjà entrepris à Bezà Mahafaly. Concernant le suivi phénologique, les suggestions présentées ci-après font suite à la constatation des imperfections notées au cours de l'étude et sont proposées dans un but d'améliorer la méthodologie et d'affiner les résultats. Elles s'adressent particulièrement au responsable de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly.

- Renouveler les pieds d'arbres morts pour pouvoir garder la taille de l'échantillon en vue d'améliorer la précision des analyses dans le futur.
- Désigner un remplaçant temporaire en cas d'absence de l'agent responsable de suivi phénologique (le remplaçant peut être un contractant avec l'agent lui-même) pour obtenir une série continue de donnée.
- Suivre et contrôler régulièrement le travail de l'agent, la régularité des observations qui est une condition garantissant la qualité des résultats.
- Affecter à chaque événement phénologique une sorte de quotas pour avoir une précision sur l'état phénologique des arbres suivis. A titre d'exemple, un stade de feuillaison sera noté – 3 si environ plus de 50% des feuilles présentant sur l'arbre ont changé de couleur.
- Connaître scrupuleusement l'état des placettes de suivi pour pouvoir prendre toutes décisions améliorant le suivi. A titre d'illustration, le responsable a pour obligation de connaître l'intensité de pression à l'intérieur des placettes. En effet, des mesures de pression doivent y être menées pour pouvoir décider si les arbres de la placette doivent laisser se régénérer et installer une nouvelle placette pour la continuité du suivi ; ou si la protection des placettes, voire des parcelles de la Réserve, doit être renforcée.
- Renforcer la conservation des habitats et des espèces vulnérables à la variabilité climatique. Ce renforcement serait plus rigoureux et stricte pour la forêt xérophytique étant donné que, celle-ci est plus vulnérable que la forêt galerie selon les résultats. Centrer les efforts de conservation sur *Acacia bellula*, *Rhigozum madagascariensis*, *Grewia franciscana*, *Commiphora* sp., *Uncarina*

grandidieri, *Terminalia fatrae* qui, sont les espèces les plus vulnérables à la variabilité climatique selon toujours les résultats.

2.3. Restauration écologique

La restauration écologique est une action intentionnelle qui initie ou accélère l'autoréparation d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit, en respectant sa santé, son intégrité et sa gestion durable (SER, 2004). La restauration écologique contribuera au maintien de l'intégrité de l'écosystème forestier, sa résilience, sa stabilité et sa résistance. Les zones sujettes à la restauration sont les sites dégradés en raison de la vulnérabilité des espèces qui s'y trouvent. Les premières activités consistent alors à localiser les sites dégradés, estimer l'étendue de la dégradation et l'importance des cibles de conservation, considérer la faisabilité financière de la restauration.

Les approches à adopter se basent sur les principes de base de restauration énoncés par Bradshaw 1990 :

- Pour les sites dégradés dont le coût de restauration s'avère trop élevé et que des restaurations antérieures ont échoués, il est conseillé de laisser l'écosystème se rétablir naturellement.
- Pour les sites peu dégradées comme ceux à l'intérieur du noyau dur, une restauration partielle voire même complète est conseillée. Le choix des espèces à restaurer se portera sur les espèces dominantes et les espèces vulnérables. Selon Ratsirarson et al. 2001, les espèces dominantes de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly sont *Tamarindus indica*, *Quisivianthe papionae* et *Acacia polyphylla* pour la forêt galerie ; *Allaudia procera* pour la forêt xérophytique et *Salvadora angustifolia* pour la forêt de transition. Ces espèces dominantes et les espèces vulnérables citées plus haut, sont alors à suggérer pour la restauration au sein de ladite Réserve.

Les zones dégradées à l'intérieur ou non des deux parcelles seront sujettes à la restauration. Il faut noter que le projet d'extension actuel de la Réserve Spéciale vise à établir une connectivité entre les différents fragments forestiers autour de la zone d'étude. Dans ce projet, les sites localisés à l'intérieur et à proximité de la parcelle II seront sujettes à la première approche de restauration énoncée ci-dessus. Et le couloir forestier entre la parcelle I et la parcelle II fera objet de la deuxième approche de restauration.

2.4. Amélioration des moyens de subsistance des communautés locales

La réalisation des actions relatives aux deux premiers axes stratégiques nécessitent une collaboration avec la population locale. D'où le 3^{ème} axe, améliorer les moyens de subsistance de la communauté locale pour pouvoir conserver la forêt. Cette amélioration a pour but de créer des préoccupations, autres que les activités forestières destructives, pour les populations locales. Elle pourrait être envisagée en créant des activités socio-économiques conduisant à la conservation de la forêt, intégrant des gens locaux dans les différents projets entrepris au sein de la Réserve et en construisant des infrastructures sociales.

2.5. Plan d'action

Axe stratégique1 : Maintenir la forêt de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly					
Résultats Attendus		Activités	Responsables	IOV	Echéance
La forêt est conservée	Les actions de conservation sont rendues efficaces.	Renforcer les contrôles et l'application des lois.	- Etats et gouvernement ; - Ministère de l'environnement, des forêts.	- Représentant de tous les acteurs ayant menés les contrôles; - Nombre des agents de contrôles pour chaque représentant ; - Fréquence de contrôles au sein de la Réserve et présence des agents	LT
		Impliquer les communautés locales dans la conservation.	Autorité nationale désignée : Madagascar National Parks (MNP) : gestionnaire de la Réserve	Nombre des agents locaux	LT
		Réaliser des séances de sensibilisation, d'éducation et d'information.	Institut de recherche : ESSA/Forêts.	Taux de participation des communautés locales aux séances de sensibilisation, d'éducation et d'information.	CT à MT
	Les pressions et menaces sur la forêt sont réduites.	Protéger les zones les plus menacées et sous pressions.	- MNP ; - ESSA/ Forêts.	- Nombre de trouées à l'intérieur des zones à protéger; - Surface des trouées.	MT à LT
	Le nombre des espèces floristiques et faunistiques est maintenu ou a augmenté.	Renforcer les suivis de la faune et de la flore.	ESSA/ Forêts	- Nombre d'espèces (morts, nées, etc.) ; - Fréquence des suivis et présence des agents; - Nombre des agents de suivi ; - Fréquence de la descente des représentants de l'ESSA/Forêts.	LT

IOV : Indicateurs Objectivement Vérifiables ; CT (Court Terme) < 5ans ; MT (Moyen Terme) : 5 à 30 ans ; LT (Long Terme) > 30 ans.

Axe stratégique 2 : Faire une restauration écologique				
Résultats Attendus	Activités	Responsables	IOV	Echéance
Les zones restaurées contiennent un ensemble caractéristique d'espèces de l'écosystème de référence ¹³ .	Délimiter les zones à restaurer.	MNP	Surface à restaurer	< 1 an
	Identifier et décrire l'écosystème de référence.	ESSA/Forêts	Composition floristique	< 1 an
	Planter dans les zones à restaurer.	MNP et ESSA/Forêts	Nombre de plants	< 1 an
La surface restaurée est constitué pour la plupart d'espèces indigènes.	Collecter la plupart des semences ou des drageons au sein de la Réserve elle-même ou aux alentours immédiats de la Réserve.	Gens locaux	Pourcentage d'espèces indigènes plantées par rapport au nombre total d'espèces plantées	< 1 an
Tous les groupes fonctionnels nécessaires à l'évolution continue et/ou à la stabilité de la zone restaurée sont représentés.	Utiliser à la fois des essences héliophile de type pionnier, héliophile de type nomade, sciaphile de type sous bois, sciaphile de type edificatrice.	ESSA/Forêts	Essences utilisées pour la restauration	< 1an
L'environnement physique de la forêt restaurée est capable de maintenir des populations reproductrices d'espèces nécessaires à sa stabilité ou à son évolution continue le long de la trajectoire désirée.	Faire une description pédologique de la zone à restaurer.	ESSA/Forêts	- Type de sol ; - Humidité du sol.	< 1 an
La forêt restaurée fonctionne en apparence normalement lors de sa phase écologique de développement et les signes de dysfonctionnement sont absents.	Créer un milieu non perturbé en protégeant la zone restaurée.	MNP	- Accroissement des arbres de la zone restaurée ; - Nombre des individus morts/vivants.	LT

¹³ Ecosystème modèle pour la restauration

<p>La forêt restaurée est intégrée comme il convient dans une matrice écologique plus large ou un paysage, avec qui il interagit par des flux et des échanges biotiques et abiotiques.</p>	<p>Créer un milieu ambiant aux autres espèces en utilisant des plantes utiles à ces espèces. (création d'un réseau écologique de connectivité).</p>	<p>MNP et ESSA/Forêts</p>	<p>Composition floristique.</p>	<p>MT</p>
<p>Les menaces potentielles du paysage alentour sur la santé et l'intégrité de la forêt restaurée ont été éliminées ou réduites autant que possible.</p>	<p>Renforcer la protection du paysage alentour.</p>	<p>MNP</p>	<p>Nombre de suivis et contrôle du paysage alentour</p>	<p>MT</p>
<p>La forêt restaurée est suffisamment résiliente pour faire face à des événements normaux de stress périodiques de l'environnement local, ce qui sert à maintenir l'intégrité de l'écosystème.</p>	<p>Pérenniser la protection de la Réserve y compris les zones restaurées.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Etat et gouvernement Malagasy ; - Ministère de l'environnement, des forêts ; - Madagascar National Parks (MNP) - Organismes Non Gouvernementaux (ONG); - Secteur bancaire : appui financier aux projets ; - Secteur académique : ESSA/Forêts ; - Autorités locales et Populations locales. 	<p>Diversité et richesse spécifique au sein de la Réserve.</p>	<p>LT</p>
<p>La forêt restaurée se maintient elle-même au même degré que son écosystème de référence et a la capacité à persister indéfiniment sous les conditions environnementales existantes.</p>				

Axe stratégique 3 : Améliorer les moyens de subsistance des communautés locales pour pouvoir conserver la forêt de Bezà Mahafaly				
Résultats Attendus	Activités	Responsables	IOV	Echéance
Les zones restaurées sont protégées.	Mettre en défens la zone restaurée.	MNP	Clause d'interdiction de toutes activités à l'intérieur de la zone restaurée.	CT
La forêt de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly (y compris les zones restaurées) est protégée.	Mettre en place un système de contrôle de la forêt.	MNP	Fréquence de contrôles effectués	LT
Les moyens de subsistance des communautés locales sont améliorés.	Créer des activités socio-économiques conduisant à la conservation de la forêt : Appuyer et Améliorer la technique agricole.	Etat et Gouvernement Malagasy	Nombre de matériels agricoles distribués	CT
	Créer des emplois pour les gens locaux : intégrer des gens locaux dans les différents projets entrepris au sein de la Réserve.	MNP, ESSA/Forêts	Nombre de gens locaux travaillant au sein de la Réserve	LT
	Construire des infrastructures sociales comme les écoles, les hôpitaux.	MNP	Infrastructures sociales créées.	CT à MT

2.6. Axe de recherche

Les études menées au niveau mondial concernant à la fois la variabilité climatique et la phénologie s'appuient essentiellement sur les indices de végétation (l'indice de végétation normalisé (NDVI)), indice de recouvrement végétal, indices foliaires, etc.(Djoufack *et al.*, 2009). Ces études sont basées sur la télédétection. Ainsi, entamer ces recherches pour la forêt de Bezà Mahafaly pourrait compléter et améliorer les résultats de la présente étude. Néanmoins, cette dernière trouve son originalité dans le fait qu'elle se base sur des observations phénologiques directes et que les recherches y afférentes sont encore peu nombreuses en Afrique Tropicale et notamment dans les zones semi-arides de Madagascar telles Bezà Mahafaly. Pour pouvoir généraliser les résultats sur l'influence de la variabilité climatique sur la phénologie, il serait souhaité de : - augmenter le nombre d'observation phénologique, une série de données récoltées sur plus de 10 ans permettrait de distinguer parfaitement la variabilité de la phénologie et la modification du comportement phénologique. – analyser par espèce l'influence de la variabilité climatique afin de déterminer l'espèce la plus vulnérable à celle-ci - Installer des stations météorologiques dans chaque parcelle aurait été plus souhaité pour améliorer la précision des résultats - Contrôler et entretenir le plus souvent possible le thermomètre et le pluviomètre pour veiller à la justesse des valeurs données par ces appareils, pour éviter tout manque de données et pour avoir une série de données homogènes de point de vue emplacement des appareils météorologiques – faire une récolte des données sur le rayonnement solaire pour pouvoir considérer l'influence du photopériodisme et de l'évapotranspiration sur la phénologie - accroître le nombre de sites d'observation, la zone d'étude pourrait être étendue sur toute la partie Sud de Madagascar.

Des recherches génétiques en vue d'améliorer les plantes, des recherches sylvicoles pouvant influencer la phénologie, des recherches pédologiques influant la phénologie pourraient faire suite à cette étude. Les résultats obtenus constituent ainsi une porte ouverte non seulement dans le domaine de la phénologie et de la variabilité climatique mais aussi de diverses autres disciplines telles que la biologie, l'écologie, la génétique, la foresterie. Une étude plus approfondie pourrait alors partir de cette étude qui n'est qu'une petite partie mais constituant une base fondamentale. Cette étude constituera un outil de décision pour la conservation et la gestion de la biodiversité à Bezà Mahafaly.



Commiphora brevicalyx

CONCLUSION GENERALE



Euphorbia tirucalli

CONCLUSION GENERALE

L'étude a permis de mettre en exergue l'influence de la variabilité climatique sur la phénologie. Les méthodes utilisées, malgré ses limites inhérentes, ont pu fournir des informations nécessaires et valides pour parvenir à l'objectif initialement fixé dans cette étude. Cet objectif était de proposer des mesures de conservation adaptées à la variabilité climatique. Il est tributaire à la réalisation du sous-objectif : caractériser la variabilité climatique de la zone d'étude pour mieux comprendre son influence sur la phénologie de ladite forêt.

De Janvier 1929 à Mars 2011, la variabilité climatique de Betioky Sud y compris Bezà Mahafaly est caractérisée par quatre ruptures pluviométriques majeures intervenues en 1950, 1987, 1992 et 2007. La première rupture a généré un excès pluviométrique près de 22% et un retour des fortes pluies traduisant une tendance excédentaire. La deuxième rupture, caractéristique d'un régime déficitaire, a engendré une perte pluviométrique de l'ordre de 32% et une raréfaction des pluies annuelles. Un excès pluviométrique atteignant 72% a été dû à la troisième rupture, les fortes pluies sont de nouveau récurrentes. Le régime redevient déficitaire après la quatrième rupture de 2007, la perte pluviométrique est environ 46%. L'année climatique 2010-2011, paraît être la prochaine rupture qui orientera la tendance vers un excédent pluviométrique. En effet, la pluie totale tombée en saison humide (Novembre 2010-Mars 2011) de cette année a atteint 875,7 mm, soit une valeur largement supérieure à la précipitation moyenne interannuelle. En termes de nombre d'années, la sécheresse qu'a subie la zone d'étude présente néanmoins un caractère modéré. D'une manière globale, la précipitation reste stationnaire. Ceci est expliqué par le fait que les pertes pluviométriques durant les périodes déficitaires sont compensées par les excès durant les périodes excédentaires. Concernant la température, le nombre d'années d'observation réduit à une décennie n'a pas permis de conclure sur la variabilité interannuelle de température. Cependant, une diminution significative de la température moyenne de Bezà Mahafaly a été constatée entre 1999 et 2009. Ce refroidissement a commencé en 2003.

Selon la feuillaison, deux groupes d'espèces ont pu être distingués : les espèces à feuilles persistantes et les espèces à feuilles décidues. Parmi les espèces considérées dans l'étude, cinq espèces gardent leurs feuilles toute l'année : *Salvadora angustifolia*, *Azima tetracantha*, *Euphorbia tirucalii*, *Euphorbia rutembergianum*, *Quivisianthe papionae*. La feuillaison des autres espèces restantes suit un rythme saisonnier. Leurs feuilles sont abondantes en saison humide et sont absentes en saison sèche. Pour la forêt galerie, le nombre d'arbres avec feuilles est élevé au mois de Janvier mais la feuillaison y débute en moyenne au début du mois de Novembre et se termine au début du mois de Juillet. Pour la forêt xérophytique, le nombre d'arbres avec feuilles est élevé au mois de Février. La feuillaison y commence aussi en moyenne au début du mois de Novembre mais s'achève beaucoup plus tôt, à mi-mai en moyenne. La durée de feuillaison est alors plus longue pour la forêt galerie que la forêt xérophytique. Concernant la floraison, elle varie beaucoup suivant l'espèce. Toutefois, les individus

susceptibles de porter des fleurs sont beaucoup nombreux au mois d'août pour la forêt galerie et au mois de septembre pour la forêt xérophytique. Pour la fructification, la production de fruit est abondante deux fois par an : octobre/janvier pour la forêt galerie et novembre/février pour la forêt xérophytique.

L'étude de la relation entre la phénologie et le climat a permis de dégager que les feuilles sont abondantes quand la précipitation ou la température augmentent ; la floraison n'est ni influencée par la température et ni par la précipitation ; après une bonne humidité, la production de fruit est élevée quand la température s'accroît ; seule la fructification des arbres de la forêt xérophytique est influencée significativement par la précipitation (les fruits sont nombreux quand la pluie est abondante). La feuillaison est alors expliquée par l'augmentation des ressources disponibles en eau et un besoin de chaleur ; l'arbre demande une certaine humidité pour pouvoir fructifier après une certaine chaleur. Ainsi, toute la différence entre la forêt galerie et la forêt xérophytique paraît s'expliquer par l'existence de la rivière Sakamena. En effet, la forêt galerie peut se procurer d'humidité durant la période sèche en soutirant de l'eau de la réserve en nappe souterraine de cette rivière. La fructification dans la forêt xérophytique a été influencée par la précipitation car les arbres n'attendent que l'humidité de la pluie pour pouvoir fructifier après une augmentation de la température. Or, dans la forêt galerie, les arbres peuvent fructifier à tout moment où la température augmente car ils peuvent profiter de l'eau de la nappe souterraine. De la corrélation entre les phénophases et le climat pourrait être conclu que les arbres s'adaptent à une condition de sécheresse et de froid en défeuillant. Aussi, si la sécheresse est aigue ou s'il devient de plus en plus froid, les arbres s'adaptent à son milieu en avançant sa défeuillaison.

Il pourrait alors être conclu que les périodes de sécheresse, aussi modérée soit elle, a entraîné et vont entraîner dans le futur une perturbation voire dégradation de la forêt de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly et cela d'autant plus que cette sécheresse persiste en durée et en ampleur. En effet, la diminution de la disponibilité en eau constituerait un problème dans la mesure où les feuilles sont des organes spécialisés dans la photosynthèse et que cette dernière est à la base de l'autotrophie des plantes. Elle pourrait alors compromettre la survie des plantes elles même et risquer celle des espèces utilisant de la feuille comme nourriture. Le problème lié à l'excès d'eau n'a pas pu être envisagé dans cette étude. Mais, l'humidité extrême pourrait déstabiliser l'écosystème forestier. La forêt de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly est alors vulnérable à la variabilité climatique. Face à cette vulnérabilité, un plan d'adaptation de l'écosystème forestier de ladite Réserve est proposé. L'adaptation consiste à maintenir la forêt, à y mener une restauration écologique car la dégradation de la forêt ne fait qu'empirer les conséquences de la variabilité climatique. La réussite de ces deux stratégies dépend étroitement des implications des populations locales tout en améliorant ses moyens de subsistances.

Compte tenu de ces résultats, la première hypothèse qui stipule que « *le climat de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly reste variable* », a été confirmée concernant la précipitation. Elle n'a été ni infirmée ni confirmée pour la température. La deuxième hypothèse qui avance que « *la variabilité climatique fait décaler la feuillaison, la floraison et la fructification* » a été confirmée pour la feuillaison, n'a été ni infirmée ni confirmée pour la fructification et a été rejetée pour la floraison.

Des études de la phénologie et de la variabilité climatique basées sur les indices de végétation (l'indice de végétation normalisé (NDVI)), indice de recouvrement végétal, indices foliaires pourraient faire suite à cette étude. Cette dernière constituera une base de données fondamentale pour des recherches dans d'autres disciplines telles la génétique, la sylviculture et la pédologie, dans le futur.



Commiphora brevicalyx

REFERENCES



Euphorbia tirucalii

REFERENCES

1. 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., LE BARBE L., LEBEL T., MESSEGER 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.
2. AGNEW C.T. (2000), *Using the SPI to Identify Drought*. Drought Network News 12(1).
3. BRADSHAW A. (1990). *The reclamation of derelict land and ecology of ecosystems*. In JORDAN W., GILPON M., ABER J.(eds). *Restoration Ecology. A synthetic approach to ecological research*, 53-74. Cambridge University Press. Cambridge
4. CHAPMAN C.A., WRANGHAM R.W.,CHAPMAN L.J.,KENNARD D.K., ZANN A.E.(1999) *Fruit and flower phenology at two sites in Kibale National Park, Uganda*. Journal of Tropical Ecology 15, 189-211.
5. CHÂTELET P. (2010) *Variations interannuelles de l'indice foliaire, de la chute des feuilles, et des données météorologiques en forêt guyanaise*. . Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie Institut de Botanique, 163, rue Broussonet 34090 Montpellier.
6. CHOUTEAU P. (2006) *Influences of the season and the habitat structure on the foraging ecology of two coua species in the western dry forest of Madagascar*. Comptes Rendues Biologies 329(9).
7. COMPS B., LETOUZEY J., SAVOIE J.-M.(1987) *Phénologie du couvert arborescent dans une chênaie-hêtraie d'Aquitaine*. Annales des Sciences Forestières 44, 153-170.
8. CRISTOFOLI S., MAHY G., (2009). *Restauration écologique : contexte, contraintes et indicateurs de suivi*. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2010 14(1), 203-211.
9. DAO A., KAMAGATE B., MARIKO A., GOULA B. T. A., SEGUI S., MAIGA H.B., SAVANE I., (2010), *Variabilité Climatique et Réponse Hydrologique du Bassin Versant Transfrontalier de Kolondieba au Sud du Mali*. European Journal of Scientific Research 43(4), 435-444. <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>
10. DIFFERT J. (2001) *La phénologie des espèces arborées*. Laboratoire d'Etude des Ressources Forêt-Bois, Unité Mixte de Recherches INRA-ENGREF.
11. DJOUFACK M.V., FONTAINE M. B., TSALEFAC T., BROU (2009) *Variations de la phénologie végétale et relations avec la variabilité pluviométrique et la croissance démographique dans le nord du Cameroun*. Gepgraphica Technica. Numéro spécial 2009.

12. GAUTIER L., GOODMAN S.M.(2003). *Introduction of the flora of Madagascar*. In *The natural History of Madagascar* par Goodman et Benstead Jonathan P (2003), 229-250. The University of Chicago press, Ltd., London.
13. HANNAH L., DAVE R., PORTER P.L., ANDELMAN S., ANDRIANARISATA M., ANDRIAMARO L. , CAMERON A., HIJMANS R., KREMEN C., MACKINNON J., RANDRIANASOLO H.H., ANDRIAMBOLOLONERA S., RAZAFIMPAHANANA A., RANDRIAMHAZO H., RANDRIANARISOA J., RAZAFINJATOVO P., RAXWORTHY C., SCHATZ G.E., TADROSS M., WILME L. (2008) *Climate change adaptation in Madagascar*. *Biology Letters* 4, 590-594.
14. HARPER J. (2002). *Endangered species: Health, illness and death among Madagascar's people of the forest*. California Academic Press. Durham, North Carolina. 63-67.
15. HOTOVOE B. (2006) *Etude quantitative de la formation végétale entre la parcelle I et II de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly en vue de son extension*, mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie en Biodiversité et Environnement option Biologie Végétale, Département des sciences biologiques formation doctorale, Université de Toliara.
16. HUBERT P., CARBONNEL J. P., CHAUCHE A., (1989), *Segmentation des séries hydrométriques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest*. *Journal of Hydrology* 110,349-367.
17. INGRAM J.C., DAWSON T. P. (2005) *Climate change impacts and vegetation response on the island of Madagascar*. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 363 (1826), 55-59.
18. GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat). (2007) *Fourth Assessment Report*. Working group III.
19. JACKSON M. T. (1966) *Effects of microclimate on spring flowering phenology*. *Ecology* 47 (3), 407-415.
20. JURY M.R. (2003) *The climate of Madagascar*. in *The natural History of Madagascar* par Goodman et Benstead Jonathan P (2003), 75-87. The University of Chicago press, Ltd., London.
21. KEELING C. D., CHIN J. F.S., WHORF T. P. (1996) *Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO2 measurements*. *Nature* 382, 146-149.
22. KOECHLIN J., GUILLAUMET J.-L. et MORAT Ph. (1974) *Flore et Végétation de Madagascar*. *Flora Veg. Mundi* 5. Cramer, Vaduz.

23. LANGRAND O. (1995) *Guide des Oiseaux de Madagascar*. Delachaux & Niestlé, Lausanne, Paris.
24. LAWLER R., CASWELL H., RICHARD A., RATSIRARSON J., DEWAR R.E., SCHWARTZ M (2009) *Demography of Verreaux's sifaka in a stochastic rainfall environment*. *Oecologia* 161, 491-504.
25. LEBOURGEOIS F., DIFFERT J., GRANIER A., BREDA N., ULRICH E. (2002) *Premières observations phénologiques des peuplements du réseau national de suivi à long terme des écosystèmes forestiers (RENECOFOR)*. *Rev For Fr* 54.
26. LEBOURGEOIS F., DIFFERT J., CHUINE I., SECCHINI S., ULRICH E., LANIER M. (2006) *Observations phénologiques des arbres forestiers : concepts, intérêts et problématiques actuelles*. *RDV techniques n° 13 - ONF*.
27. LEBOURGEOIS F., GODFROY. (2005) *Analyse de la variabilité spatiale et temporelle et du déterminisme climatique de la phénologie des peuplements du Réseau National de Suivi à Long terme des Ecosystèmes Forestiers (RENECOFOR)*. Rapport interne, ENGREF, Nancy.
28. LEE A. F. S., HEGHINIAN S. M., (1977), *A shift of the mean level in a sequence of independent normal random variables-A Bayesian approach*. *Technometrics* 19(4), 503-50.
29. LUBES-Niel H., MASSON J.M., PATUREL J.E., SERVAT E., (1998), *Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques*. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science* 11 (3), 383-408. <http://id.erudit.org/iderudit/705313ar>.
30. MINISTERE DE L'AGRICULTURE (2001) *Monographie de la région du sud-ouest*. Unité de politique pour le développement rural (UPDR).
31. MITTERMEIER R., TATTERSAL I., KONSTANT W., MEYERS D. & MAST R. (1994) *Lemurs of Madagascar*. 1st edition Conservation International, Tropical Field Guide Series, Washington DC, USA.
32. NIZINSKI J. J. et SAUGIER B. (1988) *A model of leaf budding and development for a mature Quercus forest*. *Journal of Applied Ecology* 25, 643-652.
33. NJOKU E. (1963) *Seasonal periodicity in the growth and development of some forest trees in Nigeria I*. *Observations on Mature Trees*. *Journal of Ecology* 51(3), 617-624.
34. PETTITT A. N. (1979) *A non-parametric approach to the change-point problem*. *Appl. Statist.* 28(2), 126-135.

35. PRIMACK J., RATSIRARSON J. (2005) *Principe de base de la conservation de la biodiversité*. Antananarivo, ESSA, CITE.
36. RABEFITIA Z., ANDRIAMAMPIANINA C. (1999) *Tendances des températures et précipitations annuelles à Madagascar de 1961 à 1990*. MADA-GEO n°4.
37. RASELIMANANA A.P. (2002) *Biodiversité, Biologie de conservation et Biogéographie*. Field school Bezà Mahafaly 2002 (APR seminar).
38. RATSIRARSON J. (2003) *Réserve Spéciale de Beza Mahafaly*. In *The natural History of Madagascar* par Goodman et Benstead. Jonathan P (2003), 1520-1525. The University of Chicago press, Ltd, London.
39. RATSIRARSON J., RANDRIANARISOA J., EDIDY E., EMADY J., EFITROARANY, RANAIVONASY J., ELYSE H., RAZANAJAONARIVALONA E., et ALISON F.R. (2001) *Bezà Mahafaly: Ecologie et réalités socio-économiques*. Recherches pour le développement, Séries science biologiques n°18. CIDST-Université d'Antananarivo.
40. RAZANAKA S., GROUZIS M., MILLEVILLE P., MOIZO B., AUBRY C. (2001) *Société paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le Sud-ouest de Madagascar*. Actes de l'Atelier CNRE-IRD. 8-10 novembre 1999. Antananarivo.
41. REICH P. B., BORCHERT R., (1984) *Water stress and tree phenology in a tropical dry forest in the Lowlands of Costa rica*. *Journal of ecology* 72, 61-74.
42. RÖDEL M.-O., LARGEN M., MINTER L., HOWELL K., NUSSBAUM R., VENCES M., BAHAEI DIN S. (2008) *Ptychadena mascareniensis*. In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.
43. ROHNER U. et SORG J.-P. (2002) *Cycles phénologiques des arbres de la forêt dense sèche dans la région de Marofandilia/Morondava*. CFPF Morondava.
44. SCHNEITER D., BERNARD, DEFILA, GEHRIG (2002) *Influence du changement climatique sur la phénologie des plantes et la présence de pollen dans l'air en Suisse*. *Allergie et Immunologie* 34(4), 113-116.
45. SEGHIERI J. et FLORET C. (1991) *Dynamique saisonnière de la végétation sur vertisol dégradé ("hardé") en savane sahélo-soudanienne. Les terres hardes. Caractéristiques et réhabilitation dans les bassins du Lac Tchad*. MESIRES - IRA-IRZ-CIRAD-ORSTOM - CNRS.

- 46.SER (2004). *The SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group) international primer on ecological restoration*.
http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp.
- 47.SPECHT R. L., YATES D. J. (1990) *Climatic control of structure and phenology of foliage shoots in dicotyledonous overstorey and understorey strata of subtropical plant communities in southeast Queenslet*. *Acta Oecologica* 11 (2), 215-233.
- 48.TADROSS M., RANDRIAMAROLAZA L., RABEFITIA Z., ZHENG (2008) *Climate change in Madagascar, recent past and future*. Washington, DC: World Bank.
- 49.TOULMIN C.(1993) *Lutter contre la désertification: réflexions préliminaires à une convention mondiale*. International Institute for Environment and Development, dossiers n°42. Paris (France).
- 50.VERNIER, DU CROS T. (1996) *Variabilité génétique du hêtre: importance pour le reboisement en Picardie et en Normandie*. *Revue Forestière Française* XLVIII(1), 7-20.
- 51.WHITTAKER R.J. (1998) *Island Biogeography: Ecology, Evolution and Conservation*. Oxford University Press, Inc, New York.
- 52.WMO, (1998) *Drought*. In *The global climate system review, December 1993–May 1996* (ed. J. M. Nicholls), ch. 4, pp. 34–39. World Climate Data and Monitoring Programme, WMO-No. 856, 95. Geneva: World Meteorological Organization.
- 53.WU H., HAYES M. J., WILHITE D. A., SVOBODA M. D., (2005).*The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation*. *International Journal of Climatology* 25, 505–520.
- 54.YOUSSOUF J. (2004) *Bioécologie des Rattus rattus dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly et ses alentours*. Diplôme d'Etudes Approfondie en biodiversité et environnement, Option Biologie Animale. Université de Tuléar, Faculté des Sciences, Département des Sciences Biologiques.



Commiphora brevicalyx

ANNEXES



Euphorbia tirucalii

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Liste des espèces floristiques dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly	II
Annexe 2 : Arrêté de mise en protection temporaire de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly.....	X
Annexe 3 : Fiche d'enquête.....	XVII
Annexe 4 : Fiche de suivi phénologique dans la forêt galerie.....	XVIII
Annexe 5 : Fiche de suivi phénologique dans la forêt xérophytique	XXI
Annexe 6 : Phénologie des espèces de la forêt galerie de janvier 2005-mars 2011	XXV
Annexe 7 : Phénologie des espèces de la forêt xérophytique entre janvier 2005 et mars 2011	XXVIII

Annexe 1 : Liste des espèces floristiques dans la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly

- Liste des espèces floristiques dans la forêt galerie

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Famille
Akaly	<i>Crateva excelsa</i>	CAPPARIDACEAE
Bokabey	<i>Mardemia</i> sp.	APOCYNACEAE
Dango	<i>Tallinella grevea</i>	PORTULACACEAE
Daromangily	<i>Commiphora grandifolia</i>	BURSERACEAE
Famata	<i>Euphorbia tirucalii</i>	EUPHORBIACEAE
Fandriandambo	<i>Physena sessiliflora</i>	FLACOURTIACEAE
Fatra	<i>Terminalia fatrae</i>	COMBRETACEAE
Filofilo	<i>Azima tetraacantha</i>	SALVADORACEAE
Forimbitike	<i>Clerodendrum</i> sp.	VERBENACEAE
Halimboro	<i>Albizzia polyphylla</i>	FABACEAE
Hazombalala	<i>Syregada chauvetiae</i>	EUPHORBIACEAE
Katrafay	<i>Cedrelopsis grevei</i>	PTAEROXYLACEAE
Kibaintsihotse	<i>Diospyros sakalavarum</i>	EBENACEAE
Kily	<i>Tamarindus indica</i>	CESALPINIACEAE
Kompitse	<i>Gonocripta grevei</i>	ASCLEPIADACEAE
Lamotimboay	<i>Xerophis</i> sp.	RUBIACEAE
Mantsake	<i>Enterospermum pruinatum</i>	RUBIACEAE
Mantsandrano	<i>Noronhia</i> sp1	OLEACEAE
Robontsy	<i>Acacia polyphylla</i>	FABACEAE
Rohipitika	inconnu	inconnue
Roihavitse	<i>Capparis chrysomea</i>	CAPPARIDACEAE
Roiombalahy	<i>Scutia murtina</i>	RHAMNACEAE
Sabonto	<i>Roupellina boivini</i>	APOCYNACEAE
Sanira	<i>Phyllanthus angavansis</i>	EUPHORBIACEAE
Sarihasy	<i>Byttneria</i> sp.	STERCULIACEAE
Sasavy	<i>Salvadora angustifolia</i>	SALVADORACEAE
Selibohoka	<i>Grewia grandidieri</i>	TILIACEAE
Sely	<i>Grewia triflora</i>	TILIACEAE
Seta	inconnu	inconnue
Tagnatagnanala	<i>Grewia rotundata</i>	TILIACEAE
Tainajajamena	<i>Acalypha decaryana</i>	EUPHORBIACEAE
Taly	<i>Terminalia seyrigii</i>	COMBRETACEAE
Tamboro	<i>Terminaliopsis linearis</i>	ASCLEPIADACEAE

Tanatanana	<i>Alchorbia</i> sp.	EUPHORBIACEAE
Tanjaka	<i>Olax</i> sp.	OLACACEAE
Tratriotse	<i>Acacia bellula</i>	FABACEAE
Tsikembakemba	<i>Fluggea obovata</i>	EUPHORBIACEAE
Tsikidraitse	<i>Bridelia</i> sp.	EUPHORBIACEAE
Tsilaitry	<i>Norhonia myrtoides</i>	OLAECEAE
Tsompia	<i>Pentopetio</i> sp.	APOCYNACEAE
Valiandro	<i>Quivisianthe papionae</i>	MELIACEAE
Velae	<i>Ipomae majungansis</i>	CONVOLVULACEAE
Voafogne	<i>Antidesma petiolare</i>	EUPHORBIACEAE
Source : Base de données du Centre de Recherche de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly		

- Liste des espèces floristiques dans la forêt de transition (sur sol argilo-limoneux établie près de la forêt galerie)

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Famille
Avoha	<i>Albizzia</i> sp 1	FABACEAE
Dango	<i>Tallinella grevea</i>	PORTULACACEAE
Daromangily	<i>Commiphora grandifolia</i>	BURSERACEAE
Darosiky	<i>Commiphora marchandii</i>	BURSERACEAE
Famata	<i>Euphorbia tirucalii</i>	EUPHORBIACEAE
Fandriandambo	<i>Physena sessiliflora</i>	FLACOURTIACEAE
Fatra	<i>Terminalia fatrae</i>	COMBRETACEAE
Filofilo	<i>Azima tetracantha</i>	SALVADORACEAE
Hazombalala	<i>Syregada chauvetiae</i>	EUPHORBIACEAE
Hazonta	<i>Rhigozum madagascariensis</i>	BIGNONIACEAE
Karembolamitsy	<i>Dialium madagascariensis</i>	CESALPINACEAE
Katrafay	<i>Cedrelopsis grevei</i>	PTAEROXYLACEAE
Kily	<i>Tamarindus indica</i>	CESALPINIACEAE
Kompitse	<i>Gonocripta grevei</i>	ASCLEPIADACEAE
Kotipoke	<i>Grewia grevei</i>	TILIACEAE
Mahafagnona	Inconnu	Inconnue
Maintifotse	<i>Grewia tuleariensis</i>	TILIACEAE
Mantsake	<i>Enterospermum pruinsum</i>	RUBIACEAE
Mendorave	<i>Albizzia tulearensis</i>	FABACEAE
Ndriamainty	<i>Cadaba virgata</i>	BURSERACEAE
Rombe	<i>Commiphora rombe</i>	BURSERACEAE

Sarihasy	<i>Byttneria</i> sp.	STERCULIACEAE
Sasavy	<i>Salvadora angustifolia</i>	SALVADORACEAE
Sengatse	<i>Commiphora simplicifolia</i>	BURSERACEAE
Somangy 1	<i>Maerua filiformis</i>	CAPPARIDACEAE
Tagnatagnanala	<i>grewia rotendata</i>	TILIACEAE
Tainajajamena	<i>Acalypha decaryana</i>	EUPHORBIACEAE
Tainkafotse	<i>Grewia franciscana</i>	TILIACEAE
Taly	<i>Terminalia seyrigii</i>	COMBRETACEAE
Tanjaka	<i>Olax</i> sp.	OLACACEAE
Tapisapisaka	<i>Xerosicyos perierri</i>	CUCURBITACEAE
Tratramborondreo	<i>Grewia leucophylla</i>	TILIACEAE
Tratriotse	<i>Acacia bellula</i>	FABACEAE
Tsikidrakitse	<i>Bridelia</i> sp.	EUPHORBIACEAE
Velae	<i>Ipomae majungansis</i>	CONVOLVULACEAE
Source: Base de données du Centre de Recherche de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly		

- Liste des espèces floristiques dans la forêt de transition (sur sol sablo-argileux, en relation avec la forêt xérophytique elle-même)

Nom vernaculaire	Nom scientifique	FAMILLE
Akaly	<i>Crateva excelsa</i>	CAPPARIDACEAE
Angalora	<i>Secamone</i> sp.	ASCLEPIADACEAE
Angoretse	<i>Cadaba grandidieri</i>	ASTERACEAE
Avoha	<i>Albizia</i> sp.	FABACEAE
Bakoa	<i>Strychos madagascariensis</i>	LOGANIACEAE
Beravina	<i>inconnue</i>	INCONNUE
Dango	<i>Tallinella grevea</i>	PORTULACACEAE
Daro	<i>Commiphora aprevalii</i>	BURSERACEAE
Daromangily	<i>Commiphora grandifolia</i>	BURSERACEAE
Darosiky	<i>Commiphora marchandii</i>	BURSERACEAE
Famata	<i>Euphorbia tirucalii</i>	EUPHORBIACEAE
Fandriandambo	<i>Physena sessiliflora</i>	FLACOURTIACEAE
Fandrivotse	<i>Euphorbia</i> sp.	EUPHORBIACEAE
Fantsiolotse	<i>Alluaudia procera</i>	DIDIERACEAE
Farehitra 1	<i>Uncarina grandidieri</i>	PEDALIACEAE
Fatra	<i>Terminalia fatrae</i>	COMBRETACEAE
Filofilo	<i>Azima tetracantha</i>	SALVADORACEAE

Forimbitike	<i>Clerodendrum</i> sp.	VERBENACEAE
Halimboromahaleo	<i>Albizzia arenicola</i>	FABACEAE
Hazontaha	<i>Rhigozum madagascariensis</i>	BIGNONIACEAE
Hola	<i>Adenia sphaerocarpa</i>	PASSIFLORACEAE
Kapaipoty	<i>Gyrocarpus americanus</i>	HERNANDIACEAE
Katrafay	<i>Cedrelopsis grevei</i>	PTAEROXYLACEAE
Kelehagnitse	<i>Croton geayi</i>	EUPHORBIACEAE
Kibaintsihotse	<i>Diospyros sakalavarum</i>	EBENACEAE
Kililo	<i>Metaporana parvifolia</i>	CONVOLVULACEAE
Kily	<i>Tamarindus indica</i>	CESALPINIACEAE
Kompitse	<i>Gonocripta grevei</i>	ASCLEPIADACEAE
Kotake	<i>Grewia calvata</i>	TILIACEAE
Kotipoke	<i>Grewia grevei</i>	TILIACEAE
Lafikosy	inconnue	inconnue
Lamotimboay	<i>Xerophis</i> sp.	RUBIACEAE
Maintifototse	<i>Grewia tuleariensis</i>	TILIACEAE
Mantsake	<i>Enterospermum pruinatum</i>	RUBIACEAE
Robontsy	<i>Acacia polyphylla</i>	FABACEAE
Roihavitse	<i>Capparis chrysomea</i>	CAPPARIDACEAE
Rombe	<i>Commiphora rombe</i>	BURSERACEAE
Roy	<i>Acacia pennata</i>	FABACEAE
Sabonto	<i>Roupellina boivini</i>	APOCYNACEAE
Sanira	<i>Phyllanthus angavansis</i>	EUPHORBIACEAE
Sarongaza	<i>Albizzia</i> sp 2	FABACEAE
Sasavy	<i>Salvadora angustifolia</i>	SALVADORACEAE
Selibohoka	<i>Grewia grandidieri</i>	TILIACEAE
Sengatse	<i>Commiphora simplicifolia</i>	BURSERACEAE
Somangy 1	<i>Maerua filiformis</i>	CAPPARIDACEAE
Tainajajamena	<i>Acalypha decaryana</i>	EUPHORBIACEAE
Tainkafotse	<i>Grewia franciscana</i>	TILIACEAE
Talinala	<i>Terminalia</i> sp.	COMBRETACEAE
Taly	<i>Terminalia seyrigii</i>	COMBRETACEAE
Tanjaka	<i>Olax</i> sp.	OLACACEAE
Tapisapisaka	<i>Xerosicyos perrieri</i>	CUCURBITACEAE
Tratramborondreo	<i>Grewia leucophylla</i>	TILIACEAE
Tratriotse	<i>Acacia bellula</i>	FABACEAE
Tsikidrakitse	<i>Bridelia</i> sp.	EUPHORBIACEAE

Tsilaitse	<i>Norhonia myrtoides</i>	OLAECEAE
Vahiranga	inconnu	inconnue
Vaho	<i>Aloe milii</i>	LILIACEAE
Valiandro	<i>Quivisianthe papionae</i>	MELIACEAE
Velae	<i>Ipomae majungansis</i>	CONVOLVULACEAE
Vololo	<i>Grewia</i> sp2.	TILIACEAE
Vontake	<i>Pachypodium geayi</i>	APOCYNACEAE
Vontakindria	<i>Pachypodium rutembergianum</i>	APOCYNACEAE
Source : Base de données du Centre de Recherche de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly		

- Liste des espèces floristiques dans la forêt xérophytique (sur sol gréseux)

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Famille
Andriambolafotsy	<i>Tabernaemontana coffeoides</i>	APOCYNACEAE
Avoha	<i>Albizia</i> sp.	FABACEAE
Bakoa	<i>Strychos madagascariensis</i>	LOGANIACEAE
Beholitse	<i>Hymenodactyon decaryi</i>	RUBIACEAE
Dango	<i>Tallinella grevea</i>	PORTULACACEAE
Daro	<i>Commiphora aprevalii</i>	BURSERACEAE
Daromangily	<i>Commiphora grandifolia</i>	BURSERACEAE
Darosiky	<i>Commiphora marchandii</i>	BURSERACEAE
Famata	<i>Euphorbia tirucalii</i>	EUPHORBIACEAE
Famatabetondro	<i>Euphorbia rutembergianum</i>	EUPHORBIACEAE
Famontsihoho	Inconnu	Inconnue
Fandriandambo	<i>Physenia sessiliflora</i>	FLACOURTIACEAE
Fandrivotse	<i>Euphorbia</i> sp.	EUPHORBIACEAE
Fangitse	<i>Dolichos fangitse</i>	PAPILIONACEAE
Fantsiolotse	<i>Alluaudia procera</i>	DIDIERACEAE
Farehitse	<i>Uncarina</i> sp.	PEDALIACEAE
Fatra	<i>Terminalia fatrae</i>	COMBRETACEAE
Hafotrampelambatotra	Inconnu	Inconnue
Hazombalala	<i>Syregada chauvetiae</i>	EUPHORBIACEAE
Hazomby	<i>Indigofera</i> sp.	FABACEAE
Hazomena	<i>Phyllanthus decoryanus</i>	EUPHORBIACEAE
Hazontaha	<i>Rhigozum madagascariensis</i>	BIGNONIACEAE
Hola	<i>Adenia sphaerocarpa</i>	PASSIFLORACEAE
Jabihy	<i>Opercuyarium decaryi</i>	ANACARDIACEAE

Kapaipoty	<i>Gyrocarpus americanus</i>	HERNIANDIACEAE
Katrafay	<i>Cedrelopsis grevei</i>	PTAEROXYLACEAE
Kelehagnitse	<i>Croton geayi</i>	EUPHORBIACEAE
Kililo	<i>Metaporana parvifolia</i>	CONVOLVULACEAE
Kirava	<i>Mimosa delicantuta</i>	FABACEAE
Kompitse	<i>Gonocripta grevei</i>	ASCLEPIADACEAE
Kotake	<i>Grewia calvata</i>	TILIACEAE
Kotipoke	<i>Grewia grevei</i>	TILIACEAE
Laro	<i>Euphorbia laro</i>	EUPHORBIACEAE
Maintifototse	<i>Grewia tuleariensis</i>	TILIACEAE
Masokara	<i>Gouania</i> sp.	RHAMNACEAE
Rombe	<i>Commiphora rombe</i>	BURSERACEAE
Sabonto	<i>Roupellina boivini</i>	APOCYNACEAE
Sakoamanditse	<i>Calopikis</i> sp.	COMBRETACEAE
Sasavy	<i>Salvadora angustifolia</i>	SALVADORACEAE
Sengatse	<i>Commiphora simplicifolia</i>	BURSERACEAE
Somangy	<i>Maerua</i> sp	CAPPARIDACEAE
Tainkafotse	<i>Grewia franciscana</i>	TILIACEAE
Tagnatagnanala	<i>grewia rotendata</i>	TILIACEAE
Tapisapisaka	<i>Xerosicyos perrieri</i>	CUCURBITACEAE
Taraby	<i>Commiphora brevicalyx</i>	BURSERACEAE
Tratramborondreo	<i>Grewia leucophylla</i>	TILIACEAE
Try	<i>Cynanchum Mahafalense</i>	ASCLEPIADACEAE
Tsiambara	<i>Leucosalpha poissonii</i>	SCROPHULARIACEAE
Tsikidrakatse	<i>Grewia lavanalensis</i>	TILIACEAE
Tsompia	<i>Pentopetio</i> sp.	APOCYNACEAE
Velae	<i>Ipomae majungansis</i>	CONVOLVULACEAE
Vontake	<i>Pachypodium geayi</i>	APOCYNACEAE
Source : Base de données du Centre de Recherche de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly		

- Liste des espèces floristiques dans la forêt xérophytique (sur sol sableux)

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Famille
Andriambolafotsy	<i>Tabernaemontana coffeoides</i>	APOCYNACEAE
Angalora	<i>Secamone</i> sp.	ASCLEPIADACEAE
Avoha	<i>Albizzia</i> sp.	FABACEAE
Bakoa	<i>Strychos madagascariensis</i>	LOGANIACEAE

Dango	<i>Tallinella grevea</i>	PORTULACACEAE
Daro	<i>Commiphora aprevalii</i>	BURSERACEAE
Famata	<i>Euphorbia tirucalii</i>	EUPHORBIACEAE
Fandriandambo	<i>Phyenia sessiliflora</i>	FLACOURTIACEAE
Fandrivotse	<i>Euphorbia</i> sp.	EUPHORBIACEAE
Fangitse	<i>Dolichos fangitse</i>	PAPILIONACEAE
Fantsiolotra	<i>Alluaudia procera</i>	DIDIERACEAE
Farehitra 1	<i>Uncarina grandidieri</i>	PEDALIACEAE
Fatra	<i>Terminalia fatrae</i>	COMBRETACEAE
Fofotse	<i>Pentarhopalopilia</i> sp.	OPILIACEAE
Forimbitike	<i>Clerodendrum</i> sp.	VERBENACEAE
Hafotsampelambatotse	inconnu	inconnue
Hatokaondrilahy	inconnu	inconnue
Hazombalala	<i>Syregada chauvetiae</i>	EUPHORBIACEAE
Hazomby	<i>Indigofera</i> sp.	FABACEAE
Hazonta	<i>Rhigozum madagascariensis</i>	BIGNONIACEAE
Jabihy	<i>Opercuyarium decaryi</i>	ANACARDIACEAE
Kapaipoty	<i>Gyrocarpus americanus</i>	HERNANDIACEAE
Kapikinakoho		
Katrafay	<i>Cedrelopsis grevei</i>	PTAEROXYLACEAE
Kelehagnitse	<i>Croton geayi</i>	EUPHORBIACEAE
Kililo	<i>Metaporana parvifolia</i>	CONVOLVULACEAE
Kitoitoy	inconnu	inconnue
Kompitse	<i>Gonocripta grevei</i>	ASCLEPIADACEAE
Kotipoke	<i>Grewia grevei</i>	TILIACEAE
Laro	<i>Euphorbia laro</i>	EUPHORBIACEAE
Maintifototse	<i>Grewia tuleariensis</i>	TILIACEAE
Maintifototse2	<i>Diospyros latispa</i>	EBENACEAE
Maintifototse 3	<i>Diospyros boivinea</i>	EBENACEAE
Maintifototse4	<i>Diospyros mahafaliensis</i>	EBENACEAE
Maranatolaky	inconnu	inconnue
Mendorave	<i>Albizzia tulearensis</i>	FABACEAE
Mote	<i>Turrae</i> sp.	MELIACEAE
Pisopiso	<i>Kochneria madagascariensis</i>	LYTHRACEAE
Roihavitse	<i>Capparis chrysomea</i>	CAPPARIDACEAE
Rombe	<i>Commiphora rombe</i>	BURSERACEAE
Roy	<i>Acacia minutifolia</i>	FABACEAE

Sakoamanditse	<i>Calopikis</i> sp.	COMBRETACEAE
Sasavy	<i>Salvadora angustifolia</i>	SALVADORACEAE
Sely	<i>Grewia triflora</i>	TILIACEAE
Sengatse	<i>Commiphora simplicifolia</i>	BURSERACEAE
Somangy 2	<i>Maerua</i> sp.	CAPPARIDACEAE
Taboarandolo	inconnu	inconnue
Tainakanga	<i>Albizia boivinii</i>	FABACEAE
Tainkafotse	<i>Grewia franciscana</i>	TILIACEAE
Talinala	<i>Terminalia</i> sp.	COMBRETACEAE
Taly	<i>Terminalia seyrigii</i>	COMBRETACEAE
Tanatananala	<i>grewia rotendata</i>	TILIACEAE
Tapisapisaka	<i>Xerosicyos perierri</i>	CUCURBITACEAE
Taraby	<i>Commiphora brevicalyx</i>	BURSERACEAE
Taratsy	inconnu	inconnue
Tratramborondreo	<i>Grewia leucophylla</i>	TILIACEAE
Tsiambara	<i>Leucosalpha poissonii</i>	SCROPHULARIACEAE
Tsikidrakitse	<i>Bridelia</i> sp.	EUPHORBIACEAE
Tsiridambo	inconnu	inconnue
Vahipinde	<i>Hippocratea angustifolia</i>	HIPPOCRATEACEAE
Vaheranga	inconnu	inconnue
Vahimasy	<i>Cynanchum compactum</i>	ASCLEPIADACEAE
Vahimena	inconnu	inconnue
Varanga	inconnu	inconnue
Velae	<i>Ipomae majungansis</i>	CONVOLVULACEAE
Voafotake	<i>Gardenia</i> sp1	RUBIACEAE
Volily	inconnu	inconnue
Vololo	<i>Grewia</i> sp2.	TILIACEAE
Vontake	<i>Pachypodium geayi</i>	APOCYNACEAE
Source : Base de données du Centre de Recherche de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly		

Annexe 2 : Arrêté de mise en protection temporaire de la Réserve Spéciale de Bezà Mahafaly

Arrêté interministériel n° 52005/2010 modifiant l'arrêté interministériel Mine-Forêts n°18633 du 17 octobre 2008 portant mise en protection temporaire globale des sites visés par l'arrêté n°17914 du 18 octobre 2006 et levant la suspension de l'octroi des permis miniers et forestiers pour certains sites.

Le Ministre de l'Environnement et des Forêts

Le Ministre de l'Elevage

Le Ministre de l'Agriculture

Le Ministre de la Pêche et des Ressources Halieutiques

Le Ministre des Mines et des Hydrocarbures

Le Ministre de l'Energie

Le Ministre de l'Aménagement du Territoire et de la Décentralisation

Le Ministre des Transports

Le Ministre du Tourisme et de l'Artisanat

- Vu la constitution ;
- Vu la loi n°90-033 du 21 décembre 1990 portant Charte de l'Environnement modifiée et complétée ; par la loi n°97-012 du 06 juin 1997 et la loi n°2004-015 du 19 août 2004 ;
- Vu la loi n° 97-017 du 08 août 1997 portant révision de la législation forestière ;
- Vu la loi n°99-022 du 17 août 1999 portant Code minier, modifiée par la loi n°2005-021 du 19 octobre 2005 et ses textes d'application
- Vu la loi n°2001-005 de 11 février 2003 portant Code de Gestion des Aires Protégées ;
- Vu la loi n°2004-004 du 25 octobre 2001 portant réglementation générale des Dina en matière de sécurité publique ;
- Vu la loi n°2004-001 du 17 juin 2004 relative aux Régions ;
- Vu la loi n°2005-019 du 17 octobre 2005 fixant les principes régissant les statuts des terres ;
- Vu la loi n°2006-031 du 24 novembre 2006 fixant le régime juridique de la propriété foncière privée non titrée ;
- Vu la loi n°2008-013 du 23 juillet 2008 sur le Domaine Public ;
- Vu la loi n°2008-14 du 03 juillet 2008 sur le Domaine Privé de l'Etat, des Collectivités décentralisées et des personnes morales de droit public ;
- Vu l'ordonnance n°93-022 du 04 mai 1993 portant réglementation de la Pêche et de l'Aquaculture ;
- Vu le décret n°97-1455 du 18 décembre 1997 portant organisation générale des activités de collecte des produits halieutiques d'origine marine ;
- Vu le décret n°97-1456 du 18 décembre 1997 portant réglementation de la pêche dans les eaux continentales et saumâtres du domaine public de l'Etat ;

- Vu le décret n°99-954 du 15 décembre 1999 relatif à la mise en compatibilité des investissements avec l'environnement (MECIE), modifié par le décret n°2004-167 du 03 février 2004 ;
- Vu le décret n°2004-859 du 17 septembre 2004 fixant les règles relatives à l'organisation, au fonctionnement et aux attributions des Régions ;
- Vu le décret n°2005-013 du 11 janvier 2005 organisant l'application de la loi n°2001-05 du 11 février 2003 portant Code de Gestion des Aires Protégées
- Vu le décret n°2005-848 du 13 décembre 2005 appliquant les articles 2 alinéa 2, 4, 17, 20 et 28 de la loi n°2001-05 du 11 février 2003 portant Code de Gestion des Aires Protégées ;
- Vu le décret n°2006-910 du 19 décembre 2006 fixant les modalités d'application de la loi n°99-022 du 19 août 1999 portant Code minier modifié par la loi n°2005-021 du 17 octobre 2005 ;
- Vu le décret n°2007-957 du 31 octobre 2007 portant définition des conditions d'exercice de la pêche des crevettes côtières ;
- Vu le décret n°2009-547 du 08 mai 2009 fixant les attributions du Ministre du Tourisme et de l'Artisanat, ainsi que l'organisation générale de son Ministère ;
- Vu le décret n°200961204 du 29 septembre 2009 fixant les attributions du Ministre de l'Agriculture, ainsi que l'organisation générale de son Ministère ;
- Vu le décret n°2009-1221 du 13 octobre 2009, fixant les attributions du Ministre des Mines et des Hydrocarbures ainsi que l'organisation générale de son Ministère ;
- Vu le décret n°2009-1388 du 20 décembre 2009 portant nomination du Premier Ministre, Chef du gouvernement de la Transition ;
- Vu le décret n°2010-171 du 26 mars 2010 fixant les attributions du Ministre de l'Energie ainsi que l'organisation générale de son Ministère ;
- Vu le décret n°2009-326 du 07 avril 2010 modifié et complété par les décrets n°2009-491 du 08 mai 2009, n°2009-1165 du 15 septembre 2009, n°2010-024 du 25 janvier 2010 et n°2010-745 du 27 juillet 2010 fixant les attributions du Ministre de l'Aménagement du Territoire et de la Décentralisation ainsi que l'organisation générale de son Ministère ;
- Vu le décret n°2010-360 du 24 mai 2010 modifié par le décret n°2010-759 du 17 août 2010 portant nomination du membre de gouvernement ;
- Vu le décret n°2010-373 du 01 juin 2010 fixant les attributions du Ministre de l'Elevage ainsi que l'organisation générale de son Ministère ;
- Vu le décret n°2010-386 du 08 juin 2010 fixant les attributions du Ministre des Transports ainsi que l'organisation de son Ministère ;
- Vu le décret n°2010-639 du 29 juin 2010 fixant les attributions du Ministre de la Pêche et des Ressources Halieutiques ainsi que l'organisation générale de son ministère ;
- Vu le décret n°2010-647 du 06 juillet 2010 fixant les attributions du Ministre de l'Environnement et des Forêts ainsi que l'organisation générale de son Ministère ;

- Vu l'arrêté Interministériel n°4355/1997 du 13 mai 1997 portant définition et délimitation des zones sensibles ;
- Vu l'arrêté n°18177-04 du 27 septembre 2004 portant définition des zones forestières sensibles ;
- Vu l'arrêté n°21694-2004 du 11 novembre 2004 relatif à la suspension de toute activité extractive de ressources ligneuses dans les zones réservées comme Sites de Conservation ;

Arrêtent

Article premier : en application de la politique forestière et de l'article 20 de la loi n°2001-05 du 11 février 2003 portant Code de Gestion des Aires Protégées, bénéficient de la protection temporaire globale des sites d'intérêt biologique et écologique ci-après ;

- Les sites de Nouvelles Aires Protégées ;
- Les sites jugés prioritaires pour la conservation de la Biodiversité, ainsi que ceux pour la Gestion Durable des Ressources Forestières et Halieutiques

En vue de l'application des objectifs et dispositions de l'article 8 de l'Ordonnance n°093-022 du 04 mai 1993 portant réglementation de la pêche et de l'aquaculture où il est stipulé que dans certaines zones où la faune ou la flore présente un intérêt particulier, il peut être créé sur proposition du Ministère chargé de la Pêche et de l'Aquaculture, en collaboration avec les autres Ministres concernés, des parcs et réserves naturelles où les activités halieutiques sont interdites ou strictement réglementées.

Ces sites sont visés en annexe1 du présent arrêté.

Article 2 : la protection temporaire globale est prononcée pour une durée de deux (02) ans renouvelable une seule fois. Le décret de création des sites des Nouvelles Aires Protégées et des sites de Gestion Durable des Ressources Forestières doit intervenir avant la fin de cette période.

Article 3 : les superficies de ces sites sont décrites dans l'annexe 2. Les terrains concernés sont de nature domaniale.

Article 4 : la Direction Régionale chargée de l'Environnement et des Forêts est désignée gestionnaire des sites d'intérêt Biologique et écologique susmentionné. La délégation de la gestion temporaire peut toutefois être accordée par Décision ministérielle à une ou des personnes publiques ou privées, laquelle Décision détermine le terme de la délégation, les droits et obligations des parties.

Le principe de gestion des aires protégées en création est celui de co-gestion, type conjointe ou collaborative, tel que défini par l'article 24 dernier alinéa du décret n°2005-848 du 13 décembre 2005 appliquant les articles 2 alinéa 2, 4, 17, 20 et 28 de la loi n°2001-005 du 11 février 2003 portant Code de Gestion des Aires Protégées.

Article 5 : un comité d'Orientation et d'Evaluation, dont les membres sont mentionnés à l'article 13 assure le suivi de l'exécution des actions découlant du présent arrêté. Il est présidé par le Directeur

chargé de l'Environnement et des Forêts de la circonscription concernée et comprend notamment les représentants de la Région, ceux des services déconcentrés des ministères intéressés, des communes ainsi que toute personne ou organisme choisi pour ses compétences particulières.

Article 6 : les objectifs principaux de gestion poursuivis sur les sites d'intérêt biologique et écologique sont d'assurer à long terme la conservation de l'intégrité de la biodiversité, la durabilité des fonctions écologiques et la maintenance de la productivité des écosystèmes nécessaires au bien être des communautés riveraines, ainsi que l'utilisation durable des ressources naturelles.

Les objectifs spécifiques de gestion comprennent le maintien de l'écosystème des zones marines côtières et humides (lacs et marais), la protection des populations viables d'espèces endémiques et menacées de faune et flore, ainsi que la valorisation du tourisme écologique et l'utilisation durable des ressources naturelles pour contribuer à la réduction de la pauvreté.

Article 7 : sont autorisés, conformément au schéma global d'aménagement :

- Les travaux d'aménagement en faveur du tourisme écologique ayant obtenu un permis d'implantation et un permis environnemental ;
 - Les activités légales liées aux recherches scientifiques ;
 - Les activités liées à la conservation : suivi écologique, restauration, contrôle et surveillance ;
 - L'utilisation piétonnière sur les principaux sentiers existants ;
 - L'accès aux sites culturels par les sentiers y menant et la pratique des activités culturelles
 - Les activités liées à la gestion et l'utilisation durable des ressources marines et côtières ;
 - La collecte des produits halieutiques ayant déjà eu une autorisation préalable ;
 - Tout type d'aquaculture artisanale et traditionnelle notamment la pisciculture, l'élevage en cage et ou en enclos, l'algoculture et l'holothuriculture ;
 - La pêche traditionnelle et artisanale respectant d'une manière générale, les dispositions réglementaires applicables à la pêche :
- Matériels et engins de pêche réglementés et autorisés,
 - Substances no toxiques
 - Interdiction d'utilisation d'explosifs et des procédés électriques sur le poisson, ou tout dispositif permettant une immersion plus longue que celle autorisée par la seule respiration naturelle,
 - Interdiction de mode ou instrument de pêche prohibé, ou détention de cet instrument,
 - Interdiction de pêche et/ou collecte dans les zones pendant les saisons et les heures où la pêche est interdite,
 - Interdiction de pêche et /ou collecte des espèces dont la capture est prohibée, ou dont les dimensions sont inférieures à celles autorisées,

Toute activité incompatible avec les objectifs susmentionnés est interdite à l'intérieur de ces sites d'intérêt biologique et écologique visés par le présent arrêté, notamment :

- Le défrichement et l'extension des périmètres de culture existant après l'élaboration du plan d'aménagement et de gestion simplifié qui définira les règles d'utilisation et de gestion des différentes unités d'aménagement ;
- Toute forme de pêche industrielle hormis le cas de survie lors d'un accident ou cataclysme naturel ;
- Tout type d'aquaculture industrielle et semi industrielle ;
- La chasse, la consommation et la vente des mammifères marins, les tortues marines et les oiseaux d'eau ;
- La fabrication des charbons de bois ;
- La délivrance de permis et/ou autorisation d'exploitation, chasse, coupe dans le noyau dur ;
- La délivrance des nouveaux permis miniers, pétroliers à des fins d'exploration ou d'exploitation de carrière ou de mines, ou de bloc/concession pétrolière, et orpillage à l'intérieur des sites d'intérêt biologique et écologique ;
- La délivrance des titres ou certificats fonciers à l'intérieur du noyau dur des sites d'intérêts biologique et écologique ;
- La délivrance des titres ou certificats fonciers à l'intérieur des zones tampon des sites d'intérêt biologique et écologique sans l'autorisation du Département concerné ;
- L'autorisation d'accès au noyau dur sauf pour des activités liées à la recherche scientifique autorisées par l'administration compétente ;
- La pêche utilisant des matériels et engins de pêche non réglementés ni autorisés ;
- Et de manière générale tout acte de nature à apporter des perturbations à la faune et à la flore ainsi qu'à l'aspect original du milieu naturel.

Des plans d'Aménagement et de Gestion sont élaborés par les gestionnaires respectifs de manière participative, dans le cadre des opérations préalables à la création définitives par décret des Aires Protégées et des sites Gestion Durable des Ressources Forestières et Halieutiques en voie de création.

Article 8 : les activités ci-après liées aux droits d'usage sont réglementées conformément au schéma global d'aménagement, aux règles internes de gestion, au DINA, à la législation en vigueur et aux principes d'utilisation durable des ressources naturelles du site, et doivent faire l'objet d'une autorisation délivrée par le gestionnaire des sites d'intérêts biologique et écologique responsable.

Ces activités sont :

- Les pâturages ainsi que les pacages de troupeau des bovidés ;
- La récolte de miel et de cire, des plantes médicinales, des fruits et des plantes comestibles et autres produits accessoires des forêts respectant les principes d'utilisation durable ;
- La pêche traditionnelle ;
- L'aquaculture en cage ou enclos, l'algoculture et l'holothuriculture ;
- La chasse aux animaux, gibiers et nuisibles ;

- Le prélèvement de produits accessoires de marais respectant les principes de l'utilisation durable ;

Article 9 : la délivrance des nouveaux permis de pêche, miniers, pétroliers et forestiers est autorisée pour les sites classés comme potentiels pour la préservation de la biodiversité et la gestion forestière durable figurant en annexe 3.

Toutefois, elle nécessite l'application des conditions et exigences spécifiques prévues par les réglementations en vigueur et doit se conformer aux procédures en vigueur.

Article 10 : l'administration chargée de l'environnement et des Forêts doit veiller à ce que la protection temporaire des sites d'intérêt biologique et écologique n'empêche les titulaires des permis de pêche, miniers, pétroliers bénéficiant des droits acquis de mener dans les règles de l'art et dans le respect de la réglementation en vigueur les activités découlant desdits droits de pêche, miniers et/ou pétroliers.

Les permis de pêche délivrés antérieurement à cet arrêté et dont les redevances ont été entièrement libérées garderont leur validité pour la durée pour laquelle ils ont été délivrés.

Néanmoins, une Etude d'Impact Environnemental (EIE) ou une mise en Conformité Environnementale doit être initiée par l'opérateur du projet minier ou pétrolier avant la sortie du décret portant création définitive des sites d'intérêts biologique et écologique.

En cas de renonciation par les titulaires de ces permis miniers et/ou pétroliers, les périmètres ou blocs concernés s'ajoutent d'office à la superficie de protection temporaire définie par le présent arrêté et le nouvel octroi n'y sera plus possible. La restauration des sites par le titulaire du permis demeure obligatoire après les activités exercées.

Article 11 : toute demande d'octroi de permis pétroliers, miniers, permis de pêche, des titres ou certificats fonciers relative aux transferts de gestion et aux terrains occupés antérieurement à la date de mise en protection temporaire globale ou cas par cas de ces aires protégées, doit faire l'objet d'une évaluation du comité conjoint des départements ministériels concernés comme le Comité Interministériel Mine-Forêt ou d'autres à créer.

La demande est également soumise à l'autorisation préalable de l'Administration chargée de l'Environnement et des Forêts assortie d'un cahier de charges se basant sur le schéma global/plan d'aménagement établi pour le site.

Article 12 : le cahier des charges est élaboré par le Ministère chargé de l'Environnement et des Forêts. Il est également soumis pour la validation des Ministères concernés.

L'attribution des permis de pêche, permis miniers et pétroliers, des titres ou certificats fonciers est assujettie à l'approbation de ce cahier de charges et des engagements environnementaux par le Ministère chargé de l'Environnement et des Forêts qui dispose d'un délai de 3 mois pour se prononcer.

Toute procédure de reconnaissance d'occupation de terrains effectuée par les Communes et les états des lieux des terrains procédés par le Service chargé des Domaines sont obligatoirement assistés par le représentant de l'Administration chargée de l'Environnement et des Forêts.

Article 13 : pendant la période de protection temporaire,

- Les Régions et les Communes concernées ;
- Les Services déconcentrés chargés de l'Environnement et des Forêts ;
- Les Services déconcentrés de l'Elevage ;
- Les Services déconcentrés de l'Agriculture ;
- Les Services déconcentrés chargés de la Pêche et des ressources halieutiques,
- Les Services déconcentrés chargés des Mines et des Hydrocarbures ;
- Les Services déconcentrés chargés de l'Energie ;
- Les Services déconcentrés chargés de l'Aménagement du Territoire et de la Décentralisation ;
- Les Services déconcentrés chargés des Transports ;
- Les Services déconcentrés du Tourisme et de l'Artisanat ;
- L'Agence Portuaire Maritime et Fluviale ;
- Les Brigades de la Gendarmerie compétentes et les détachements marins dans les zones entourant les sites d'intérêts biologiques et écologiques concernés.

Sont chargés, chacun en ce qui lui concerne, de la surveillance et du contrôle de proximité des sites d'intérêt biologique et écologique en collaboration avec les gestionnaires désignés et conformément aux règles de gestion participative instaurée au titre de la protection temporaire.

Par ailleurs, les Dina peuvent être conclus entre les membres de la collectivité selon les dispositions légales en vigueur.

Article 14 : les infractions au présent arrêté sont constatées et réprimées conformément à la législation en vigueur.

Article 15 : les dispositions antérieures contraires au présent arrêté sont abrogées.

Article 16 : le présent arrêté interministériel entre en vigueur dès sa signature indépendamment de sa publication au Journal Officiel et est communiqué par tous les moyens sur l'ensemble du territoire.

Annexe 3 : Fiche d'enquête

I- CLIMAT				
I-1- Différents types de saison (karazana fizaran-taona)				
I-2- Particularités de chaque saison (fiavahan'ny fizaran-taona)				
<i>I-2-1- Pluie (rotsak'orana)</i>				
<i>I-2-2- Température (hafanana)</i>				
<i>I-2-3- Cyclone</i>				
I-3- Répartition mensuelle de chaque saison (volana misy ny fizaran-taona tsirairay)				
I-4- Perception de l'existence du changement climatique (fahatsapana ny fisian'ny fiovan'ny toetr'andro)				
-le climat a changé –le climat n'a pas changé				
I-5- Manifestation du changement en cas de changement (fisehon'ny fiovan'ny toetr'andro) réflexion en terme de longueur de chaque saison, abondance de précipitation, réchauffement				
II- PHENOLOGIE				
II-1- influence du changement sur la phénologie des plantes (fiantraikan'ny fiovan'ny toetr'andro any amin'ny fitsimohan'ny ravin-java-maniry, ny famelanany ary ny famoahany)				
II-2- état de la feuillaison pour chaque saison (fisian'ny ravina isaky ny fizaran-taona)				
II-3- état de la floraison pour chaque saison (fisian'ny voninkazo isaky ny fizaran-taona)				
II-4- état de la fructification pour chaque saison (fisian'ny voa isaky ny fizaran-taona)				
II-5- discussion ouverte sur la phénologie et le climat				

Annexe 4 : Fiche de suivi phénologique dans la forêt galerie

SUIVI PHENOLOGIQUE PARCELLE I

Date :

Date :

Transect n: 3 (1^{ère} parcelle)

Transect n: 3 (1^{ère} parcelle)

Observateur :

Observateur :

Emplacement	Espèce	Feuille	Fleur	Fruit	Observation	Feuille	Fleur	Fruit	Observation
0-100m									
0-5m	kily 1								
0-5m	kotipoke 1								
0-5m	filofilo 1								
0-5m	sasavy 1								
0-5m	katrafay 1								
0-5m	hazombalala 1								
10-15m	tratriotse 1								
10-15m	tratramborondreo 4								
20-25m	taikafotse 1								
20-25m	hazombalala 8								
25-30m	darro 1								
25-30m	hazontaha 1								
25-30m	katrafay 22								
35-40m	taly 1								
50-55m	tratramborondreo 11								
55-60m	taly 5								
60-65m	taikafotse 10								
60-65m	hazombalala 12								
65-70m	katrafay 38								
70-75m	taly 10								
75-80m	taikafotse 20								
75-80m	taly 15								
75-80m	taly 20								
85-90m	taly 23								
100-200m									
100-105m	tratriotse 3								
100-105m	taikafotse 30								
100-105m	hazontaha 4								
105-110m	hazombalala 15								
105-110m	famata 1								
105-110m	sasavy 7								
110-115m	taly 25								
110-115m	tratramborondreo 21								
110-115m	darro 4								
115-120m	hazombalala 17								
125-130m	taly 27								
130-135m	kily 6								
130-135m	tratramborondreo 24								
130-135m	filofilo 16								
130-135m	hazombalala 19								
135-140m	katrafay 42								
140-145m	kotipoke 4								
140-145m	hazombalala 23								
140-145m	famata 5								

155-160m	valiandro 1								
155-160m	famata 10								
170-175m	famata 16								

200-300m

200-205m	famata 19								
200-205m	tratraborondreo 19								
200-205m	taly 30								
205-210m	valiandro 10								
205-210m	hazombalala 30								
205-210m	kily 26								
210-215m	filofilo 24								
215-220m	katrafay 44								
220-225m	kotipoke 7								
220-225m	sasavy 10								
225-230m	taikafotse 3								
225-230m	daró 7								
230-235m	taikafotse 40								
235-240m	hazombalala 32								
250-255m	hazontaha 7								
265-270m	sasavy 12								
265-270m	daró 9								
275-280m	kotipoke 10								
275-280m	daró 12								
285-290m	taikafotse 35								

300-400m

300-305m	kily 33								
300-305m	filofilo 28								
305-310m	hazombalala 36								
310-315m	tratraborondreo 45								
310-315m	kotipoke 18								
310-315m	sasavy 14								
310-315m	daró 14								
325-330m	valiandro 20								
360-365m	hazontaha 8								
385-390m	katrafay 52								
395-400m	taly 34								

400-500m

400-405m	hazontaha 8								
415-420m	sasavy 15								
415-420m	valiandro 33								
420-425m	filofilo 36								
425-430m	tratraborondreo 52								
425-430m	kily 50								
435-440m	kotipoke 20								
435-440m	sasavy 17								
445-450m	katrafay 53								
455-460m	kotipoke 23								
485-490m	kaikafotse 56								
485-490m	sasavy 19								
490-495m	daró 16								
490-495m	daró 20								

495-500m	taly 72								
500-600m									
505-510m	sasavy 22								
510-515m	tratriborondreo 58								
510-515m	kotipoke 26								
510-515m	tratriotse 13								
515-520m	famata 38								
515-520m	katrafay 56								
515-520m	kily 69								
535-540m	daró 17								
540-545m	taikafotse 57								
545-550m	famata 44								
560-565m	kotipoke 29								
575-580m	filofilo 43								
600-700m									
600-605m	famata 57								
600-605m	kily 75								
605-610m	filofilo 46								
610-615m	tratriborondreo 64								
610-615m	valiandro 39								
615-620m	kotipoke 37								
620-625m	daró 22								
635-640m	katrafay 57								
645-650m	taikafotse 59								
650-655m	kily 85								
690-695m	sasavy 27								
700-800m									
700-705m	valiandro 49								
705-710m	famata 77								
710-715m	kily 98								
720-725m	filofilo 53								
725-730m	daró 25								
740-745m	tratriborondreo								
765-770m	katrafay 59								
750-755m	valiandro 57								
760-765m	valiandro 60								
760-765m	filofilo 62								
780-785m	valiandro 71								
800-900m									
800-805m	kily 111								
800-805m	filofilo 79								
815-820m	valiandro 75								

Annexe 5 : Fiche de suivi phénologique dans la forêt xérophytique

SUIVI PHENOLOGIQUE PARCELLE 2

Date

Transect n:7 (2^{ème} parcelle)

Observateur

Date

Transect n:7 (2^{ème} parcelle)

Observateur

Emplacement	Espèce	Feuille	Fleur	Fruit	Observation	Feuille	Fleur	Fruit	Observation
0-100m									
0-5m	kapaipoty 1								
0-5m	hazombalala 1								
0-5m	daró 1								
0-5m	fatra								
0-5m	katrafay 1								
5-10m	famanta 1								
5-10m	farehitse 1								
10-15m	hazonta 1								
20-25m	vontakindria 1								
20-25m	taraby 1								
25-30m	fantsiolotra 1								
35-40m	hazomena 1								
40-45m	vontakindria 3								
45-50m	taly 1								
45-50m	kapaipoty 26								
45-50m	hazomena 16								
50-55m	daró 17								
55-60m	taraby 8								
60-65m	kotipoke 2								
60-65m	taraby 10								
65-70m	kotipoke 3								
70-75m	farehitse 2								
100-200m									
100-105m	kapaipoty 40								
100-105m	hazombalala 33								
100-105m	katrafay 52								
100-105m	fantsiolotse 10								
100-105m	famanta 7								
105-110m	daró 24								
105-110m	taly 8								
105-110m	hazomena 19								
110-115m	hazonta 21								
110-115m	vontakindia 16								
130-135m	fatra 11								
135-140m	kotipoke 4								
140-145m	taraby 12								
145-150m	famata betondro 1								
145-150m	kapaipoty 56								
145-150m	daró 29								
145-150m	farehitse 3								
150-155m	hazomena 43								
160-165m	fantsiolotse 13-b								
175-180m	famatabetondro 10								

180-185m	taly 9								
180-185m	kotipoke 20								
200-300m									
200-205m	famata 39								
200-205m	kapaipoty 94								
200-205m	katrafay 78								
200-205m	daró 39								
200-205m	hazombalala 51								
200-205m	fantsiolotse 17								
200-205m	famatabetondro 12								
210-215m	kotipoke 22								
220-225m	vontakindria 20								
220-225m	famatabetondro 18								
330-235m	farehitse 4								
240-245m	hazomena 60								
240-245m	hazonta 23								
245-250m	votakindria 22								
245-250m	fatra 25								
245-250m	kapaipoty 155								
245-250m	kotipoke 35								
250-255m	daró 44=rombe								
250-255m	votakindria 26								
250-255m	taraby 11-b								
265-270m	fantsiolotse 22								
265-270m	taraby 13								
295-300m	hazomena 61								
300-400m									
300-305m	kapaipoty 197								
300-305m	famata 59								
300-305m	katrafay 105								
300-305m	fata 36								
305-310m	hazonta 34								
310-315m	daró 49								
310-315m	fantsiolotse 25								
310-315m	hazombalala 90								
315-320m	famatabetondro 20								
320-325m	fantsiolotse 25								
325-330m	famatabetondro 21								
325-330m	hazomena 63								
335-340m	taraby 25								
340-345m	kotipoke 36								
345-350m	kapaipoty 229								
345-350m	vontakindria 29								
345-350m	hazomena 72								
350-355m	daró 55								
355-360m	taly 10								
375-380m	vontaky 1								
390-395m	taraby 44								

395-400m	kotipoke 37								
400-500									
400-405m	kapaipoty 268								
400-405m	katrafay 155								
400-405m	hazombalala 133								
400-405m	darro 60								
400-405m	famata 83								
400-405m	hazomena 89								
405-410m	fatra 54								
415-420m	taraby 46								
430-435m	taly 14								
430-435m	hazonta 49								
440-445m	vontakindria 32								
440-445m	kotipoke 41								
445-460m	kotipoke 43								
460-465m	hazomena 91								
460-465m	vontakindria 33								
460-465m	fantsiolotse 32								
460-465m	volivaza 1								
460-465m	volivaza 2								
460-465m	volivaza 3								
465-470m	farehitse 5								
465-470m	volivaza 7								
465-470m	volivaza 18								
465-470m	volivaza 11								
465-470m	volivaza 13								
465-470m	volivaza 15								
465-470m	volivaza 9								
465-470m	volivaza 5								
480-485m	fantsiolotse 40								
485-490m	famatabetondro 22								
485-490m	famatabetondro 26								
495-500m	taraby 58								
500-600m									
500-505m	fantsiolotse 44								
500-505m	katrafay 263								
500-505m	famatabetondro 27								
500-505m	vontakindria 36								
500-505m	kapaipoty 316								
500-505m	taly 21								
505-510m	vontaky 2								
505-510m	famata 104								
505-510m	famatabetondro 34								
510-515m	fatra 64								
510-515m	famatabetondro 36								
510-515m	taikafotse 3								
515-520m	hazombalala 161								
530-535m	kirava 1								

535-540m	fantsiolotse 74								
535-540m	hazonta 77								
545-550m	daró 64								
565-570m	taikafotse 14								
570-575m	kirava 13								

600-700m

600-605m	famata 137								
600-605m	kirava 14								
605-610m	hazombalala 169								
605-610m	hazonta 80								
610-615m	katrafay 309								
620-625m	taikafotse 31								
655-660m	taikafotse 47								
655-660m	kirava 17								
665-670m	fatra 84								
690-695m	taly 38								

700-800m

700-705m	famata 171								
700-75m	taly 40								
705-710m	kirava 22								
720-725m	hazonta 89								
725-730m	hazombalala 172								
745-750m	taly 42								
745-750m	taikafotse 54								
760-765m	kirava 24								
785-790m	katrafay 331								
790-795m	taikafotse 59								

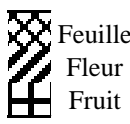
800-900m

805-810m	famata 197								
805-810m	hazombalala 175								
805-810m	taly 46								
805-810m	taikafotse 60								
825-830m	hazonta 118								
825-830m	kirava 27								
845-850m	katrafay 332								
850-855m	taikafotse 64								
860-865m	kiraa 29								
885-890m	fatra 85								

900-1000m


900-905m	hazombalala 181								
900-905m	taikafotse 72								
905-910m	katrafay 334								
905-910m	famata 233								
910-915m	kirava 31								
915-920m	fata 86								
925-930m	fatra 88								
945-950m	kirava 36								
955-960m	hazonta 128								
955-960m	taikafotse 81								

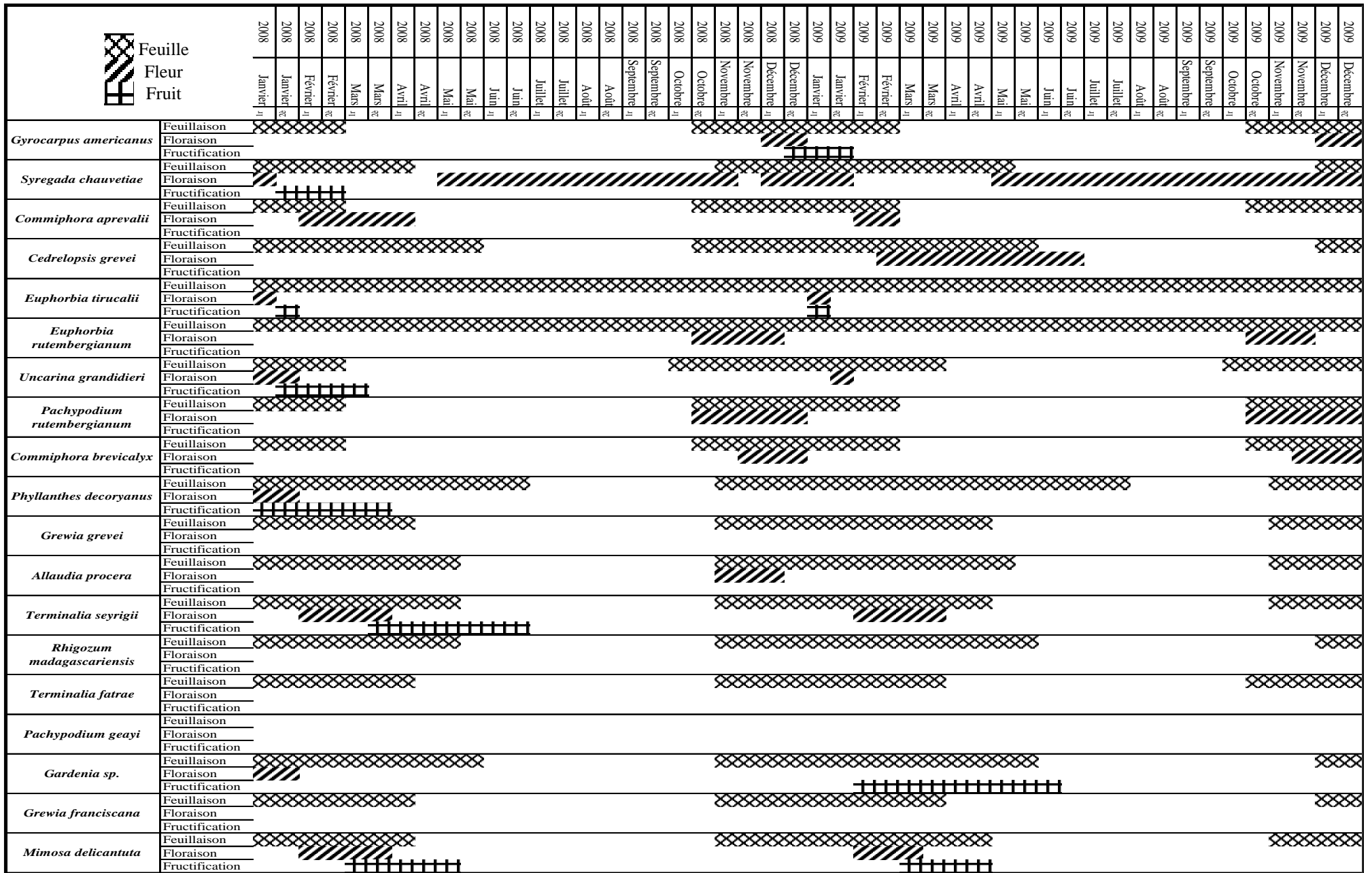
Annexe 6 : Phénologie des espèces de la forêt galerie de janvier 2005-mars 2011

	 Feuille Fleur Fruit	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006	2006				
		Janvier	Février	Mars	Mars	Avril	Avril	Mai	Mai	Juin	Juillet	Août	Août	Septembre	Septembre	Octobre	Novembre	Novembre	Décembre	Janvier	Janvier	Février	Mars	Mars	Avril	Avril	Mai	Mai	Jun	Juillet	Août	Août	Septembre	Septembre	Octobre	Novembre	Novembre	Décembre
		1r	2è	1r	2è	1r	2è	1r	2è	1r	1r	1r	2è	1r	2è	1r	1r	2è	1r	1r	2è	1r	1r	2è	1r	2è	1r	2è	1r	1r	1r	2è	1r	2è	1r	2è	1r	2è
<i>Tamarindus indica</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Grewia grevei</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Acacia bellula</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Grewia leucophylla</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Syregada chauvetiae</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Cedrelopsis grevei</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Terminalia seyrigii</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Grewia franciscana</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Rhigozum madagascariensis</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Salvadora angustifolia</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Commiphora aprevalii</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Azima tetracantha</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Euphorbia tirucalii</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				
<i>Quisivianthe papionae</i>	Feuillaison	[Diagonal lines]																																				
	Floraison	[Diagonal lines]																																				
	Fructification	[Vertical lines]																																				

	Feuille Fleur Fruit	2009		2010		2011		
		Janvier	Janvier	Janvier	Janvier	Janvier	Janvier	
<i>Tamarindus indica</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Diagonal]
	Floraison	[Diagonal]						[Cross-hatched]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Grewia grevei</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Vertical]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Acacia bellula</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Vertical]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Grewia leucophylla</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Diagonal]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Syregada chauvetiae</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Diagonal]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Cedrelopsis grevei</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Diagonal]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Terminalia seyrigii</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Diagonal]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Grewia franciscana</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Diagonal]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Rhigozum madagascariensis</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Diagonal]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Salvadora angustifolia</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Diagonal]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Commiphora aprevalii</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Diagonal]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Azima tetracantha</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Diagonal]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Euphorbia tirucalli</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Diagonal]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]
<i>Quisivianthe papionae</i>	Feuillaison	[Cross-hatched]						[Cross-hatched]
	Floraison	[Diagonal]						[Diagonal]
	Fructification	[Vertical]						[Vertical]

Annexe 7 : Phénologie des espèces de la forêt xérophytique entre janvier 2005 et mars 2011

	 Feuille Fleur Fruit	2005												2006												2007											
		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<i>Gyrocarpus americanus</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Cross-hatch]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Syngada chauvetiae</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Diagonal lines]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Commiphora aprevalii</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Cross-hatch]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Cedrelopsis grevei</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Diagonal lines]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Euphorbia tirucalii</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Cross-hatch]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Euphorbia rutembergianum</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Cross-hatch]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Uncarina grandidieri</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Diagonal lines]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Pachypodium rutembergianum</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Diagonal lines]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Commiphora brevicalyx</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Cross-hatch]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Phyllanthes decoryanus</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Diagonal lines]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Grewia grevei</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Cross-hatch]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Allaudia procera</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Diagonal lines]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Terminalia seyrigii</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Cross-hatch]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Rhigozum madagascariensis</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Cross-hatch]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Terminalia fatrae</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Cross-hatch]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Pachypodium geayi</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Diagonal lines]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Gardenia sp.</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Cross-hatch]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Grewia franciscana</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Diagonal lines]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			
<i>Mimosa delicantuta</i>	Feuillaison	[Cross-hatch]																																			
	Floraison	[Diagonal lines]																																			
	Fructification	[Solid black]																																			



	Feuille Fleur Fruit	2010		2011	
		Janvier ¹¹	Janvier ³²	Mars ¹¹	Mars ³²
<i>Gyrocarpus americanus</i>	Feuillaison	▨	▨		▨
	Floraison				▨
	Fructification	▨			
<i>Syregada chauvetiae</i>	Feuillaison	▨	▨	▨	▨
	Floraison	▨	▨	▨	▨
	Fructification	▨	▨		
<i>Commiphora aprevalii</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison				
	Fructification				
<i>Cedrelopsis grevei</i>	Feuillaison	▨	▨	▨	▨
	Floraison			▨	▨
	Fructification				
<i>Euphorbia tirucalii</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison				▨
	Fructification				
<i>Euphorbia rutembergianum</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison				▨
	Fructification				
<i>Uncarina grandidieri</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison	▨	▨		
	Fructification		▨		
<i>Pachypodium rutembergianum</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison				▨
	Fructification				
<i>Commiphora brevicalyx</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison				▨
	Fructification				
<i>Phyllanthus decoryanus</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison				▨
	Fructification				
<i>Grewia grevei</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison		▨		▨
	Fructification				▨
<i>Allaudia procera</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison				
	Fructification				
<i>Terminalia seyrigii</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison		▨		
	Fructification				
<i>Rhigozum madagascariensis</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison		▨		▨
	Fructification				
<i>Terminalia fatrae</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison				
	Fructification				
<i>Pachypodium geayi</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison				
	Fructification				
<i>Gardenia sp.</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison		▨		
	Fructification				
<i>Grewia franciscana</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison				▨
	Fructification				
<i>Mimosa delicantuta</i>	Feuillaison	▨	▨		
	Floraison		▨		▨
	Fructification				▨