BURKINA FASO

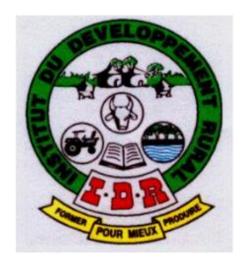
UNITE-PROGRES-JUSTICE

MINISTERE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET

SUPERIEUR

UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL



MEMOIRE

En vue de l'obtention du DIPLOME DE MASTER RECHERCHE EN ANALYSE DES POPULATIONS DES ESPACES FAUNIQUES ET HALIEUTIQUES (MFH2) SPECIALITE : Analyse des populations des espaces fauniques

Thème : Impacts anthropogéniques sur les papillons endémiques des Comores : implications sur leurs conservations.

Présenté par : DANIEL Mohamed Salim

Devant le jury composé de :

Pr Kabré T. André, directeur de mémoire, président						
>	Pr					
>	Pr					
	ErRáf /Nº.	MFH2 (Haliautique Fauna)	2018			

Résumé

Anjouan, la deuxième ile de l'Union des Comores, est caractérisée par un niveau d'endémisme élevé, qui est menacé par une dégradation exponentielle de son habitat, due à une explosion démographique. Cette étude a été réalisée pour investiguer la dynamique des papillons diurnes afin de prédire des perspectives pour la conservation de la biodiversité. Les analyses du package de R « vegan » ont permis d'évaluer l'abondance et la richesse en espèces de papillons dans les quatre types d'habitats. Les 37 espèces reparties en 7 familles ont été modélisées par des analyses spatiale de « Maximum Entropy » utilisant des variables environnementales et les données de présence. La modélisation a démontré que la distribution spatiale est influencée par les forêts, des rivières et les infrastructures pour les papillons endémiques. Des régressions linéaires justifient que les reliques forestières de haute altitude présentent une plus grande abondance d'endémicité avec une faible richesse spécifique. Quant à l'agroforesterie, elle présente une faible abondance pour l'endémicité, mais la richesse spécifique des papillons non natives et migrateurs est très élevée. Pour tous les espèces de papillons, aucune espèce n'est ressortie indicatrice d'un habitat particulier du fait qu'aucune espèce n'est ni spécifique, ni fidèle à un habitat donné. Certaines espèces seulement sont spécifiques pour un groupe d'habitat ou à une combinaison des groupes d'habitat. L'altitude, les saisons et les types d'habitat sont des variables environnementales significatifs influençant les conditions de vie des papillons endémiques. Les altitudes supérieures, la saison sèche et la forêt naturelle semble être des variables qui diminuent la probabilité de rencontre d'une espèce endémique. La survie de cette faune dépend donc des caractéristiques de son habitat. A long terme, La bonne gestion écologique des forêts et une meilleure prise en compte des espèces de papillons endémiques dans les projets d'aménagements s'avèrent indispensables pour la protection et la conservation de cette faune.

Mots clés: Anjouan, Papillons endémiques, richesse spécifique, habitats, élévation, espèces indicateurs.

Abstract

Anjouan, the second island of the Union of the Comoros, is characterized by a high level of endemism, which is threatened by an exponential degradation of its habitat, due to a population explosion. This study was conducted to investigate the dynamics of butterflies to predict future prospects for biodiversity conservation. R vegan's package analyzes assessed abundance and species richness of butterflies in all four habitat types. The 37 species divided into 7 families were modeled by "Maximum Entropy" spatial analyzes using environmental variables and presence data. Modeling has shown that spatial distribution is influenced by forests, rivers and infrastructure for endemic butterflies. Linear regressions justify high altitude forest relics with greater abundance of endemicity with low species richness. As for agroforestry, it has low abundance for endemicity, but the species richness of non-native and migratory butterflies is very high. For all species of butterflies, no species has emerged as indicator of a particular habitat because no species is specific or faithful to a given habitat. Some species only are specific for a habitat group or a combination of habitat groups. Elevation, seasons and habitat types are significant environmental variables influencing the living conditions of endemic butterflies. Higher altitudes, the dry season and the natural forest appear to be variables that decrease the likelihood of encountering an endemic species. The survival of this fauna depends on the characteristics of its habitat. In the long term, good ecological management of forests and better consideration of endemic butterfly species in development projects are essential for the protection and conservation of this fauna.

Key words: Anjouan, endemic butterflies, species richness, habitats, elevation, indicator species.

Remerciements

Ce travail est le fruit de la collaboration de l'Agence Universitaire de la francophonie, de l'Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, du Centre Nationale de Documentation et de Recherche Scientifique de l'Union des Comores (CNDRS). Nous tenons à remercier toutes ces organisations et institutions pour m'avoir permis d'acquérir des nouvelles compétences.

Nous rendons grâce à Dieu tout puissant et Miséricordieux sans qui rien n'est possible.

Ma profonde reconnaissance va droit à mon professeur Pr Kabré T. André, Directeur de mémoire et président des membres de jury.

Je suis très reconnaissant à Mr HUGH Doulton, ex-directeur exécutif de l'ONG DAHARI qui a bien accueilli mon projet de recherche. Malgré ses multiples occupations, il n'a pas cessé de me donner son soutient, que ce soit morale, matérielle et/ou financière pour la réalisation de ce mémoire.

Toute ma reconnaissance va également à mon maître de stage, Dr Steeves Buchland, ex-responsable du pôle suivi écologique de l'ONG DAHARI, qui m'a fait partager sa sympathie et son expérience. Je tiens à le remercier pour sa présence et pour toutes les explications qu'il m'a fourni pour l'exploitation des données. Je remercie également Dr PASCAL Fust, assistant technique du pole écologie de l'ONG DAHARI, pour l'ensemble des documents qu'il m'a mis à disposition et toutes les commentaires qu'il a apportés lors de la rédaction de cette mémoire.

J'exprime toute ma gratitude à Mr AMELAID Houmadi, responsable chargé du programme de recherche et de suivi de la biodiversité des Comores à l'ONG DAHARI, pour la relecture de ce travail et les diverses suggestions qu'il m'a faites.

Je remercie vivement Mr ISHAKA Saïd et mes collègues de travail qui ont bien voulu être mes guides sur le terrain et qui m'ont aidé à l'identification des espèces.

Je tiens à remercier toute l'équipe de "DAHARI" avec qui j'ai eu plaisir à partager leur compagnie que ce soit dans le travail et dans les moments de détente.

Je voudrais ensuite remercier le cercle des amis tenaces et persuasifs qui m'ont convaincu de mener ce travail jusqu'au bout, en particulier à ma femme Mme Faida Abdou Massoundi.

Enfin je tiens à remercier également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent document.

Listes des abréviations

AG	Agroforesterie
ECDD	Engagement Communautaire pour le Développement Durable.
FD	Forêt Dégradé
FN	Forêt Naturel
Mao	Maoré
Mwa	Mwali
Ndz	Ndzuani
Nga	Ngazidja
ONG	Organisation non gouvernementale
OR	odds ratio
PL	Plantation
RFIC	République Fédérale Islamique des Comores
UN	Nations –Unis

Listes des figures

Figure 1. Localisation de l'ile d'Anjouan dans l'archipel des Comores	5
Figure 2. Carte de localisation des transects	9
Figure 3. Couverture forestière : (A) Foret naturelle ; (B) Foret dégradée ; (C) Zone d'agroforesterie ; (D))
Zone de plantation1	1
Figure 4. Schéma de la méthode utilisée pour l'étude des papillons	3
b = nombre d'espèces de la liste b (station b),	4
Figure 5. Accumulation des espèces de papillons en fonction des transects	0
Figure 6. Nombre d'espèce de papillons endémiques et non endémiques enregistrés dans chaque habitat. L	æ
nombre total d'espèces, γ, est aussi représenté	0
Figure 7. Proportion de la couverture des espèces indicatrices en fonction des habitats (la valeur A : spécificit	té
est prise en charge)2	6
Figure 8. Proportion de la couverture des espèces indicatrices en fonction des altitudes (la valeur A : fidélit	té
est prise en charge)2	8
Figure 9. Modélisation de la répartition spatiale et probabilité d'occurrence de Amauris ochlea moya3	2
Figure 10. Modélisation de la répartition spatiale et probabilité d'occurrence de <i>Henotesia subrufa</i> 3	3
Figure 11. Modélisation de la répartition spatiale et probabilité d'occurrence de Neptis comorarun	m
<i>comorarum.</i>	4
Figure 12. Modélisation de la répartition spatiale et probabilité d'occurrence de <i>Mylothris humbloti</i> 3	5
Figure 13. Modélisation de la répartition spatiale et probabilité d'occurrence de Papilio epiphorba	lS
guvonnaudi 3	6

Listes des table

Tableau 1. Couverture forestière de l'île d'Anjouan. Source : ECDD 201310
Tableau 2. Nombre de transects réalisés par année
Tableau 3. Listes des espèces de papillon de jour échantillonnées : E=endémiques ; Ee=sous espèces endémiques ; NE= non endémiques
Tableau 4. Indice de similitude de Jaccard dans les différents types d'habitat20
Tableau 5. Indice de similitude de Jaccard dans l'altitude : A= [100 ; 300[, B= [300 ; 500[, C= [500 ; 700[, D= [700 ; 900[, E= [900 ; 1100[, F= [1100 ; 1300[et G= [1300 ; 1595[
Tableau 6. Indice de diversité de Shannon-Weaver et indice d'équitabilité de Piélou22
Tableau 7. Indices de diversité de Shannon Weaver et d'équitabilité de Piélou dans l'altitude : A= [100 ; 300[, B= [300 ; 500[, C= [500 ; 700[, D= [700 ; 900[, E= [900 ; 1100[, F= [1100 ; 1300[et G= [1300 ; 1595[22
Tableau 8. Définitions des diversités α, β et γ
Tableau 9. Diversité α, β et γ
Tableau 10. Les espèces de papillons diurnes significativement indicateurs d'habitat. A : la probabilité que le site étudié appartient au groupe du site cible, étant donné que l'espèce a été trouvée ; B : la probabilité de trouver l'espèce dans des sites appartenant au groupe de sites
Tableau 11. Proportion de la couverture des espèces indicatrices en fonction des habitats26
Tableau 12. Les espèces de papillons diurnes significativement indicateurs d'altitude. A : la probabilité que le site étudié appartient au groupe du site cible, étant donné que l'espèce a été trouvée ; B : la probabilité de trouver l'espèce dans des sites appartenant au groupe de sites.
Tableau 13. Proportion de la couverture des espèces indicatrices en fonction des altitudes
Tableau 14. Les espèces de papillons diurnes significativement indicateurs de l'habitat et d'altitude. A : la probabilité que le site étudié appartient au groupe du site cible, étant donné que l'espèce a été trouvée ; B : la probabilité de trouver l'espèce dans des sites appartenant au groupe de sites. Niveaux : 1 : agroforesterie ; 2 : forêt dégradé ; 3 : forêt naturel ; 4 : plantation ; 5 : [100 ; 500[; 6 : [500 ; 900[; 7 : [900 ; 1500]
Tableau 15. Variables explicatives indépendantes associées à la répartition des papillons endémiques et non endémiques d'Anjouan : résultats de l'analyse multi variée par régression logistique sur R (FD : forêt dégradé ; FN : forêt naturel ; PL : plantation et AG: agroforesterie)
Tableau 16. Résultats des odds ratio (OR) ajustés des variables explicatives indépendantes ; exp(β)= exponentielle beta

Tableau 17. Contribution des variables environnementales dans la modélisation de la répartition des cinque de la répartition de la répartition des cinque de la répartition de la réparti
espèces de papillons endémiques de l'ile d'Anjouan
Listes des annexes
Annexe 1. Les espèces recensés dans chaque habitat. AG: agroforesterie; PL: plantation; FD: forêt dégradé
; FN : forêt naturel. (× : signifie présence)
Annexe 2. SIMPER analysis – Butterfly species that contributes to the similarity between communities
according to the ranges of altitudes (Bold italics denote endemic species) (Chakira et al., 2015)46
Annexe 3. Courbes de relation (réponse) entre la probabilité de présence prédite et les variables
environnementales retenues pour la modélisation. Abréviations : aspectew5 : aspect ; costdist_slope5 :
infrastructures ; dem_5 : altitude ; distfor3 : distance forêt ; hab_new_4 : habitat ; rivers_5 : distance rivière ;
slope_5m: pente
Annexe 4. Résultat de l'analyse du test de Tukey dans R pour l'habitat et de leurs représentations graphiques.
49
Annexe 5. Abondance moyenne des espèces en fonction des habitats. Les nombres entre parenthèses sont le
nombre de transects par habitat. Les zéros (0) signifient que l'espèce n'a pas été observé dans cette habitat.
50

Table de matière

Rés	sumé		i
Ab	stract		ii
Rei	nerciemen	ıts	iii
Lis	tes des abr	éviations	iv
Lis	tes des fig	ures	V
Lis	tes des tab	le	vi
Lis	tes des anr	nexes	vii
Tał	ole de mati	ère	viii
1	Introdu	iction	1
2	Métho	dologie	5
	2.1 Zor	ne d'étude	5
	2.1.1	Situation géographique	5
	2.1.2	Hydrologie	6
	2.1.3	Climat	6
	2.1.4	La population	6
	2.1.5	Economie	7
	2.1.6	L'agriculture	7
	2.1.7	Biodiversité des Comores.	8
	2.2 Mat	tériels utilisés sur terrain	8
	2.2.1	Sélection des sites d'échantillonnage	9
	2.2.2	Echantillonnage sur terrain	11
	2.3 Mé	thodes d'analyses	13
	2.3.1	Détermination des variables des papillons de jour	13
	2.3.2	Espèces indicatrices	15
	2.3.3	Analyses statistiques	15
	2.3.4	Production des cartes de la diversité des papillons endémiques d'Anjouan	16
3	Résulta	nt	18

	3.1.1	Composition faunistique : diversité specifique, generique et abondance des famille	es 18
	3.1.2	Courbes d'accumulation	19
	3.1.3	Indices de diversité	20
	3.1.	3.1 Indice de similitude de Jaccard	20
	3.1.	3.2 L'indice de Shannon-Weaver et indice d'équitabilité de Piélou	21
	3.1.	3.3 Mesure de la richesse spécifique	23
	3.2 Les	espèces indicatrices	24
	3.2.1	Les espèces indicatrices de l'habitat	24
	3.2.2	Couverture des groupes de sites cibles par des espèces indicatrices	25
	3.2.3	Les espèces indicatrices de l'altitude	26
	3.2.4	Couverture des groupes de strates cibles par des espèces indicatrices	28
	3.2.5	Les espèces indicatrices dû aux effets croisés de l'habitat et de l'altitude	28
	3.3 Séle	ection des habitats	29
	3.3.1	Les variables environnementales	29
	3.4 Car	te de la diversité des papillons endémiques d'Anjouan	31
4	Discus	sion	37
	4.1 Cor	nposition faunistique	37
	4.2 Ind	ices de diversité	38
	4.2.1	Indices de similitude de Jaccard	38
	4.2.2	Indice de Shannon Weaver et indice d'équitabilité de Piélou	38
	4.2.3	Mesure de la richesse spécifique	39
	4.3 Les	espèces indicatrices	39
	4.4 Séle	ection d'habitat	40
	4.5 Rép	partition spatiale	41
	4.6 Asp	pect de la conservation	42
Co	onclusion		44
5	Annex	es	45
6	Bibliog	graphie	51

1 Introduction

Du point de vue caractères faunistiques, l'île de Madagascar et les îles voisines du sud-ouest de l'océan Indien peuvent être regroupé en deux ensembles faunistiques : Aldabra, les Comores, Madagascar d'une part et les Seychelles et les Mascareignes (La Réunion, Maurice et Rodrigues), d'autre part(BERNARDI, 1996). Cette faune a une affinité africaine avec une rareté des éléments orientaux et australiens (BERNARDI, 1996). Le taux d'endémisme élevé fait des Mascareignes, Seychelles, Comores et Madagascar une zone prioritaire pour la conservation de la biodiversité (Myers et al., 2000). Ces iles constituant un hot spot, la biodiversité est menacée, la végétation et la faune indigène ont subi de pressions anthropiques(Attié et al., 2005). Parmi ces iles, les Comores sont les premiers dont la dégradation de l'environnement est affreusement importante (BASTUYAT, 2008).

L'archipel des Comores est constitué de quatre iles notamment Grande Comores, Anjouan, Mohéli et Mayotte. Ils sont caractérisés par des peuplements faunistiques et floristiques récent (quaternaire) dont l'évolution est en relation étroite avec l'insularité et le volcanisme (Waruinge et al., 2002). Malheureusement, les forêts contenant une grande partie de cette biodiversité font face à un taux plus élevé de déboisement, soit 8% par an (Guy et al., 2015), un des taux les plus élevées dans le monde. Les principales menaces et pressions sur les lambeaux de forêts naturelles sont d'origine anthropique et proviennent essentiellement de l'érosion-envasement, de l'exploitation forestière et collecte du bois. Les incendies volontaires et involontaires constituent une menace supplémentaire (Roby, 2014). Entre 1990 et 2005, l'archipel a perdu plus de 58% de sa couverture forestière naturel (Goodman et al., 2010). (Moulaert, 1998) a également montré, que la superficie forestière intacte d'altitude à Mohéli a diminuée de 26% en 13 ans de 1983 à 1996, au profit des cultures ; La Grande Comores quant à elle a perdu 53% de sa superficie forestière pendant cette même période. De 1995 à 2014, les forêts denses d'Anjouan ont diminuées de 7311 hectares à un rythme de 8% par an(Guy et al., 2015) et Mayotte 16,7% entre 1990 et 2005 (Andilyat. M, 2007).

On estime qu'environ 20 000 espèces de papillons sont répandus dans le monde et ils sont facilement reconnaissable et probablement plus connu de manière taxonomique et écologique (Thomas J., 2005). Ils sont très sensibles aux changements environnementaux en raison de leurs écologies et de leur perception grossière aux habitats. Ce composant les a rendu extrêmement précieux en tant qu'indicateurs de la réponse des écosystèmes mais aussi de l'état des habitats pour la conservation de la biodiversité (Kwon et al., 2013; Van Swaay et al., 2013). Les papillons sont également des bons indicateurs pour mesurer l'intensité de la prédation dans le champ (Ota et al., 2014). Diverses espèces de papillons répondent différemment aux effets des facteurs environnementaux, tel est le cas pour la couverture de la canopée ; Les communautés de papillons d'habitats différents ont des traits écologiques distincts comme la spécificité de la plante hôte et la spécialisation de l'habitat. Les espèces monophages ont tendance à éviter les zones d'installation humaine, tout en étant cosmopolite et les espèces polyphagies peuvent s'adapter

aux zones modifiés par l'homme (Koh et al., 2004). Les larves de papillons se nourrissent principalement d'une famille de plante ou de quelques familles chimiquement similaire choisies par un adulte femelle (Ehrlich PR and Raven PH, 1964). Ainsi, une planification de la conservation ne devrait pas être limité de la manière traditionnelle qui met seulement l'accent sur les écosystèmes « naturels » à protéger contre l'homme, mais doit tenir compte également des domaines où une mesure de rapprochement peut être appliquée (Kendle T. and Forbes S., 1997). Par conséquent, certaines connaissances de bases de leur écologie sont nécessaires pour une conservation efficace.

Pour les problèmes de conservation, les Comores ont ratifié des législations internationales telles que la conservation de la biodiversité(U-N, 1992) et la politique environnementale national(RFIC, 1994). Cependant il n y a pas de protection palpable dans les quatre iles comme la mentionné(Chakira et al., 2015). A Anjouan, le défrichement et la déforestation s'accentuent dans les pentes conduisant à l'augmentation de la superficie des zones ouvertes. Ces zones (plantation et agroforesterie) peuvent offrir aux papillons un atmosphère favorable à leur survie(Chakira et al., 2015). De plus, La richesse endémique spécifique de l'habitat des plantations était plus élevée que celle de l'habitat régénéré des prairies et des forêts(Chakira et al., 2015).

Contexte générale de l'état de la biodiversité aux Comores

Les forêts tropicales de l'archipel des Comores ont leurs importances dans le fonctionnement de l'écosystème; elles constituent un habitat important pour les animaux sauvages, mais aussi des sites d'espèces végétales indigènes. Ces forêts tropicales humides sont extrêmement riches d'espèces endémiques animales ainsi que végétales (CALDECOTT et al., 1996). Quant aux papillons, des données bibliographiques sur les familles Acraeeidae, Charaxides, Danaidae, Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae et Satyridae existent aux Comores (Lewis et al., 1998; Marsh, 2008). Certaines espèces et sous espèces sont strictement endémiques d'Anjouan, y compris *Mylothris humbloti, Papilio epiphorbas guyonnaudi, Appias sabina comorensis, Amauris ochlea moya, Neptis comorarum comorarum, Pseudacraea lucretia comorana ,Pseudacraea glaucina anjouana* (Doulton and al, 2014; Green, 2014; Marsh, 2008). Anjouan partage également des espèces endémiques comoriennes avec ces trois iles sœurs, parmi lesquelles *Acrea ranavolana* (Nga, Moh., Nzu., Mao.), *Eurema Floricola* (Nga., Mwa., Ndz., Mao), *Belenois creona Vollenhoven* (Nga., Mwa., Ndz., Mao.), *Belenois creona elisa* (Nga., Mwa., Ndz., Mao), *Acrea Massaris jodina* (Nga, Moh., Nzu., Mao.), *Acrea Dammii* (Nga., Moh., Ndz., Mao.) (BERNARDI, 1996; Lewis et al., 1998).

A Anjouan, on a recensé 40 espèces de papillons dont 17 sont des espèces endémiques et sous endémiques (Doulton and al, 2014). De nombreuses espèces sont menacées et protégés, tels *Papilio aristophontes*,

Graphium levassori et en particulier le papillon grand queue, en danger d'extinction ainsi que *Pseudacrea lucretia comorana* (Union-des-Comores, 2014; Waruinge et al., 2002).

Problématique

Malheureusement, les connaissances sur les insectes (lépidoptères) sont assez fragmentaires et méritent d'être approfondies (Waruinge et al., 2002). L'étude effectuée par (Marsh, 2008) a montré une estimation de 18%(13 espèces) d'espèce de papillons rencontrés dans la forêt naturel, 36% (25 espèces) qui sont dans la forêt dégradé et 36% (25 especes) qui sont dans les zones de plantation (zone ouverte). Les reliques forestières naturelles restantes des hautes altitudes présentaient une plus grande abondance d'espèces de papillons endémiques mais une richesse spécifique plus faible ; contrairement à l'habitat des plantations qui abritaient le plus grand nombre d'espèces endémiques mais avec la plus faible abondance(Chakira et al., 2015). De même, les espèces de papillons communes et migrateurs étaient principalement abondant dans les zones ouvertes ou les activités humaines visaient à augmenter la variété des plantes(Chakira et al., 2015). Cependant il y a peu de données disponibles sur l'écologie d'une part, et sur la dynamique des populations d'autre part. Il est évident que ces données écologiques sont particulièrement importantes au sein de la gestion durable des écosystèmes forestiers et la conservation de la faune des papillons, plus particulièrement les espèces endémiques. En ce sens, entreprendre des études de recherche sur l'état actuel des effectifs des différentes espèces des papillons et de leur distribution est primordial dans un premier temps. En second, une étude basée sur les préférences d'habitat est nécessaire. A la longue, on pourrait comprendre leur biologie afin de prédire des perspectives efficaces pour la conservation à court et à long terme. Ce qui permettra à l'Union des Comores d'initier des programmes de développement forestier sous des bases solides afin de régénérer les écosystèmes forestiers, d'améliorer leur gestion à long terme et de renforcer les capacités des institutions chargées du développement du secteur. Sur ce, notre question de recherche est de savoir comment se distribuent les différentes espèces des papillons, plus particulièrement les espèces endémiques d'Anjouan dans les différents types d'habitat? Les résultats de ce projet vont servir à faire une proposition de conservation des espèces des papillons diurnes.

Objectifs du travail et hypothèses

L'objectif de cette recherche est de combiner les données de télédétection avec les données d'enquêtes biologiques sur terrain afin d'identifier les domaines prioritaires pour la conservation. Les principaux sous objectifs sont :

- 1. Identifier les espèces de papillons de jour dans les différents types d'habitat ;
- 2. Étudier la densité et la diversité des papillons endémiques dans les différents types d'habitats.
- 3. Identifier les espèces indicatrices dans les différents types d'habitat.

- 4. Étudier la répartition spatiale de la diversité des papillons endémiques le long des gradients environnementaux entre les forêts et les zones de plantation ;
- 5. Produire des cartes de distribution des papillons endémiques pour l'île.

Cette étude vise à évaluer les hypothèses selon laquelle :

- 1. La distribution des espèces est fortement influencée par les forêts, l'altitudes et la saison.
- 2. La diversité et la densité des papillons endémiques sont plus élevées dans les zones forestières que dans les zones modifiées par l'homme.
- 3. Les habitats modifiés par l'action anthropique ont une biodiversité locale élevée.
- 4. Un paysage modifié possède une valeur sur la conservation des espèces de papillons endémiques.

2 Méthodologie

2.1 Zone d'étude

2.1.1 Situation géographique

Les Comores constituent un archipel de l'océan Indien situé à 400 km au nord-ouest de l'île de Madagascar et à 300 km des côtes africaines, à l'entrée du canal de Mozambique. L'archipel comprend quatre îles, toutes situées entre 30 à 40 km les unes des autres : la Grande-Comores (1024 km2), Mohéli (211 km2), Anjouan (424 km2) et Mayotte (374 km2) qui est resté sous administration française (Caminade P., 2004). L'archipel est étendu sur 250 km, d'est en ouest (Mayotte, Anjouan, Mohéli et Grande-Comores) et compte un grand nombre d'îlots à 300 km au large de l'Afrique de l'Est. L'ensemble de l'ile se situe entre la latitude 11°22' et 13°5' Sud et entre la longitude 43°12' et 45°9' Est.

Anjouan se présente comme un ensemble triangulaire extrêmement escarpé auquel des pentes raides s'élèvent jusqu'aux lignes de crêtes (Soiffaouiddine, 2011). Trois lignes de crêtes principales structurent cette île et convergent en son centre au Mont Tringui qui s'élève jusqu'à 1595 m d'altitude et qui est son point culminant (Soiffaouiddine, 2011). La partie centrale qui correspond au vieux volcan bouclier est entaillée par de grands cirques induisant un relief accidenté riche en pentes raides (Soiffaouiddine, 2011). Des datations réalisées à Anjouan fournissent des âges entre 1,52 millions et 390.000 ans (Soiffaouiddine, 2011)

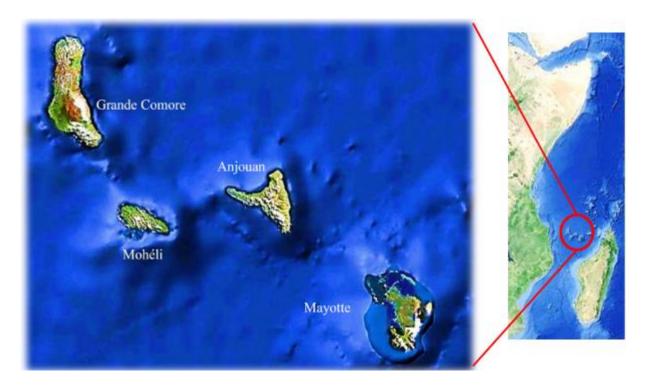


Figure 1. Localisation de l'ile d'Anjouan dans l'archipel des Comores

2.1.2 Hydrologie

Anjouan abrite deux tiers du réseau hydrographique de l'archipel (Mwezinet, 2012). Toutes ces rivières ne coulent pas durant toute l'année. (Astudillo, 2012) montre ainsi que le nombre de cours d'eau permanents, c'est-à-dire qui ne se tarissent pas en saison sèche, est passé de 40 à 19 entre 1950 et 2000. La disparition de la forêt de nuages d'Anjouan et son remplacement par des cultures de cocotiers, de girofliers et de bananiers peuvent expliquer la diminution des débits des cours d'eau observée depuis les années 1950 (Charmoille, 2013). L'impact hydrogéologique de cette évolution du couvert végétal serait plus marqué durant la saison sèche (Charmoille, 2013).

Certains types de ressources en eau utilisés par les habitants sont plus sensibles à ces évolutions, il s'agit notamment des aquifères non connectés à l'aquifère principal (Charmoille, 2013). L'île a deux lacs d'eau douce : le lac Dzialandzé avec une superficie de 50000 m² et d'une profondeur de plus 300 m où la plupart des cours de l'île d'Anjouan prennent leur source et le lac Dziya Lautsunga avec une superficie de 20000 m² et une profondeur supérieure à 200 m. Un marécage de 0,2 ha et 0,20 m de profondeur se trouve dans la côte Sud-ouest de l'île (Waruinge et al., 2002).

2.1.3 Climat

Le climat de l'archipel est de type tropical humide sous influence océanique. On distingue deux saisons : la saison pluvieuse et chaude de mi-novembre à mi-avril correspondant à l'été austral et la saison sèche et fraiche de début juin à fin septembre qui correspond à l'hiver austral (Encarta, 2008). Ce climat est caractérisé par des vents de deux régimes qui sont la mousson soufflant du nord-ouest au sud-est en saison des pluies et l'alizé qui souffle du sud-est au nord-ouest en saison sèche. L'altitude et l'exposition aux vents dominants influent beaucoup sur les grandes variations locales de ce climat (Soiffaouiddine, 2011).

Les températures en basse altitude ont une maxima moyenne inferieures à 32°C et les minimas moyens mensuels supérieurs à 16°C. En altitude vers 700 m, les maxima moyens mensuels ne dépassent pas 26, 1° C et les minima mensuels descendent jusqu'à 16°C (Soiffaouiddine, 2011). La pluviométrie est influencée par le relief qui joue un rôle primordial sur leur dynamique. La pluviométrie annuelle a un total supérieur à 1500 mm avec une grande variabilité en fonction des endroits (Soiffaouiddine, 2011). L'insolation varie entre 2000h/an à 3000 h/an avec une moyenne de 2600 h/an.

2.1.4 La population

Par la pression démographique, les Comores comptaient environ 630 000 habitant en 2006 avec un taux de croissance annuel de 2,84%; D'après le DSCRP (document de stratégie de croissance et de réduction de la pauvreté), la population comorienne est de 715 761 habitants en 2013.

La densité varie d'une ile à l'autre et Anjouan présente la densité la plus élevée ; celle de Mohéli est relativement faible. D'après les estimations, elles atteindront respectivement 679 et 133 habitants/km². Elle est très élevée dans les zones rurales où vivent plus de 64% de la population que les milieux urbains. D'après les recensements de 2003, on estime 1000habitants/km² à Nioumakele dans l'ile d'Anjouan, région proche de certaines zones forestières. La population de l'île d'Anjouan, à l'instar de celle de l'ensemble de l'archipel, connait des difficultés économiques auxquelles s'ajoute une instabilité institutionnelle chronique (TAGLIONI, F., 2008).

2.1.5 Economie

L'archipel des Comores est l'un des pays les plus pauvres au monde et dépend de l'aide internationale. Son économie est partagée entre un secteur agricole peu productif avec un PIB de 40% et principalement de subsistance et, un secteur tertiaire basée sur le commerce et les autres services dont le PIB est de 50% (Waruinge et al., 2002). Dans l'économie comorienne, le volume d'importations et d'exportations tiennent une place importante et les Comores accusent une balance commerciale négative en raison de la dépendance de ces exportations vis-à-vis des quatre produits a parfum : la vanille, le girofle, ylang-ylang et le coprah.

En 2005, le produit intérieur brut (PIB) était estimé à 387 millions de dollars, soit un revenu annuel par habitant de 644,50 dollars (Encarta, 2008). Le secteur agricole seul emploie 80% de la population active en fournissant la totalité des recettes d'exportation (Waruinge et al., 2002). La production agricole alimentaire qui est basée principalement sur la banane et les tubercules ainsi que la pêche est sous développée et est destinée en grande partie à la consommation locale. Les importations alimentaires représentent 45% du total des importations dont 22% pour le riz(Banque mondiale., 2011).

2.1.6 L'agriculture

L'agriculture comorienne occupe un peu plus de 70% de la population active et environ plus de 60% du PIB. A Anjouan, les systèmes productifs sont basés sur une association de l'agriculture et de l'élevage. Ils sont destinés avant tout à satisfaire les besoins alimentaires quotidiennes ; donc, une prédominance d'autoconsommations. Les cultures sont essentiellement axées sur la production vivrière, céréales, tubercules, légumineuses et arbres fruitiers avec en complément, plus ou moins de cultures de rente tel ylang-ylang et les girofliers(PAULIN, 2011). C'est une agriculture exclusivement manuelle. Les productions ne sont pas régulièrement réparties sur toute l'année à cause de la non uniformité du cycle végétatif des diverses espèces.

L'élevage concerne quelques unités des bovins, caprins, ovins et les volailles. Leurs activités sont pratiquées de façon peu organisé en complément de l'agriculture. Ils participent dans l'alimentation carnée et lactée des populations.

2.1.7 Biodiversité des Comores

La flore de l'archipel des Comores est estimée contenir plus de 2000 espèces (Adjanohoun et al, 1982). Elle a une grande similitude avec celle de Madagascar et de l'Afrique de l'Est (ROCHA S. et al., 2004). De nombreuses espèces endémiques existent aux Comores telles que *Jumellea anjouanensis* (Orchidaceae), *Jumellea comorensis* (Orchidaceae), *Aerangis anjouanensis* (Orchidaceae), *Khaya comorensis* (Méliaceae), *Weinmannia comorensis* (Cunionaceae), *Ocotea comorensis* (Lauraceae), *Saba comorensis* (Apocynaceae), *Eugenia comorensis* (Myrtaceae), *Philippia comorensis* (Ericaceae), *Impatiens comorensis* (Balsaminaceae), *Pandanus mayottensis* (Pandanaceae) (Andilyat. M, 2007).

Tous les grands groupes zoologiques de la faune des Comores sont représentées et cette dernière présente un équilibre et une diversification au sein des divers écosystèmes (Waruinge et al., 2002). Elles se situent après Madagascar pour la diversité, 24 espèces de reptiles dont 10 endémiques, 98 espèces d'oiseaux dont 14 espèces formant un genre endémique et 35 sous espèces endémiques et 17 espèces de mammifères dont deux espèces endémiques et trois sous espèces endémique dont notamment la roussette de Livingstone (*Pteropus livingstonii*) (Waruinge et al., 2002). On recense également 62 espèces de papillons dont 14 espèces endémiques et 21 sous espèces endémiques (Green, 2014). Apres les Seychelles, les Comores se situent pour son taux d'endémisme caractérisé comme très élevé (CALDECOTT et al., 1996).

Etat biologique de l'ile d'Anjouan

Par ailleurs, le milieu biologique de l'ile d'Anjouan qui constitue notre zone d'étude est assez diversifié, même s'il n'est pas assez étudié et connu. Cette diversification se retrouve aussi bien dans les zones des hauts et des bas que dans les zones côtières et marines, et elle concerne à la fois la faune, la flore et les écosystèmes (Soiffaouiddine, 2011). Au sein de la flore, les familles les plus représentées à Anjouan sont les Euphorbiacées, les Myrtacées, les Fabacées, les Acéracées, les Rutacées, les Labiées ainsi que des Ptéridophytes (ANLLAOUDINE A. H., 2009). Pour la faune, les listes des données disponibles retiennent qu'Anjouan avait 11 espèces de mammifères dont trois espèces endémiques (Goodman et al., 2010) et 15 espèces de reptiles (ANLLAOUDINE A. H., 2009). (Louette et al., 2008) rapporte que parmi les 39 espèces d'oiseaux nicheurs de l'île d'Anjouan, cinq espèces sont endémiques, sept sous-espèces endémiques propre à l'île.

2.2 Matériels utilisés sur terrain

Les matériaux suivants ont été utilisés lors des activités sur terrain : une carte géographique, des GPS, une caméra, des jumelles binoculaires, des montres, un densimètre, ordinateur, un guide d'identification des papillons des Comores, des fiches techniques et filet à papillon.

2.2.1 Sélection des sites d'échantillonnage

L'étude sur terrain a été effectuée entre 2009 et 2012 par moi et quatre autres scientifiques de l'équipe écologique du projet ECDD, sur les différents habitats des iles Comores, pendant la saison sèche et la saison des pluies.

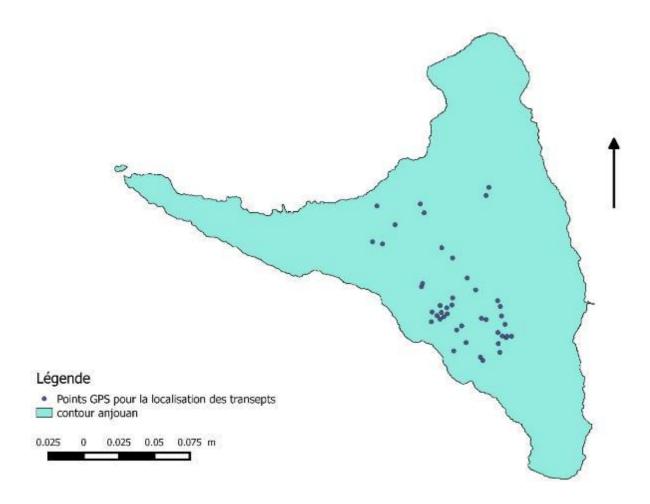


Figure 2. Carte de localisation des transects

Les sites d'échantillonnage dans le site d'étude (Anjouan) ont été sélectionnés afin de représenter les quatre principaux types d'habitat dans le paysage : forêt naturel, forêt dégradé, agroforesterie et zone de plantation.

Tableau 1. Couverture forestière de l'île d'Anjouan. Source : ECDD 2013

Habitat Superficie		Pourcentage de l'habitat par	Pourcentage de l'habitat par		
	en Km2	rapport à la couverture	rapport à la superficie totale de		
		forestière	l'île		
Forêt naturelle ¹	33,71	8,47	7,95		
Forêt dégradée ²	69	17,34	16,27		
Agroforesterie ³	144,56	36,32	34,09		
Zone de plantation ⁴	150,76	37,88	35,56		

¹Forêt naturelle : végétation naturelle, canopée fermée, pas d'impact humain visible.

Dans un site d'échantillonnage, deux bandes transects ont été établies afin de recenser la variation de la composition de la communauté des papillons entre les différentes formations végétales. La structure et la composition de la végétation de ces deux transects ne diffèrent que des caractéristiques des habitats. Ces transects étaient distants de 500m de long sur 5m de large. Sur les deux bands transects, le premier band traversait respectivement la zone de plantation et l'agroforesterie et la deuxième, la forêt dégradée et la forêt naturel. Le prélèvement des données d'inventaire s'effectue tout le long de la ligne de band transect.

²Forêt dégradée : végétation naturelle, canopée fermée, signes d'impact humain visible.

³Agro foresterie : association des plantes annuelles et d'arbres, canopée fermée composée d'espèces natives, exploitation du bois, faible présence d'arbres introduits.

⁴Zone de plantation : zones d'exploitations agricoles, Plantation, pâturage, padza et couverture de végétation basse et peu d'arbres.

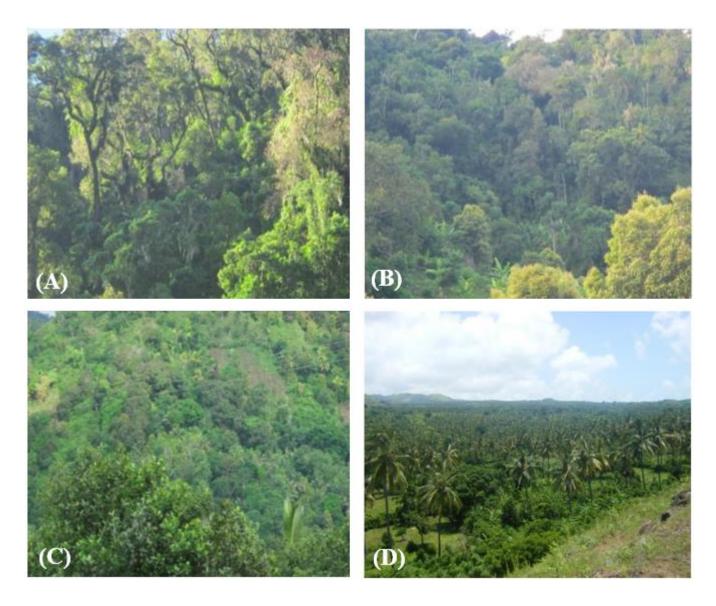


Figure 3. Couverture forestière : (A) Foret naturelle ; (B) Foret dégradée ; (C) Zone d'agroforesterie ; (D) Zone de plantation.

2.2.2 Echantillonnage sur terrain

Une session de capture a été menée sur chacun des transects aux dates indiquées sur le tableau 2.

Tableau 2. Nombre de transects réalisés par année.

Années	nombre de transect
2009	16
2010	29
2012	6

Les papillons ont été échantillonnés à l'aide d'un filet de papillons pour les capturer. Les comptages se déroulaient entre 9h et 15h. A chaque band transect, on marchait attentivement à vitesse constante soit 1km par heure pour chercher, capturer et identifier les papillons aux alentours du band transects.

L'identification de l'espèce s'effectue en utilisant le guide des papillons des Comores. Ainsi, on a complété des détails dans la fiche des données telles :

- Date : le jour/ mois/ année
- Location
- Transect ID
- Observateurs
- Temps/climat : température/soleil/nuage/vent
- Point GPS de début
- L'heure de début
- Point GPS de fin
- L'heure de fin

Tout au long du transect, pour chaque papillon vu, on avait noté:

- L'espèce
- L'heure
- Point GPS
- Distance de transect
- En volant ou hauteur

L'évaluation de la structure de l'habitat a utilisé la méthode des quadras. Un quadra mesurait 40 m de long sur 2 m de large, soit 80 m², disposé à droite du band transect tous les 200 et 400 m (respectivement 300 et 600 pas). Les données étaient les suivantes :

- Tous les arbres à DBH supérieur à 10cm
- Les noms botaniques des espèces identifiés précédemment
- Les hauteurs d'arbres identifiés sont estimées en mètre
- La densité de la canopée qui est estimée à l'aide du densitomètre, au milieu du quadra et suivant les 4 points cardinaux
- La densité des arbustes est estimée en mettre de la distance visible par l'observateur, dans chaque quadra et dans les 4 points cardinaux.
- L'impact humain est évalué par la formation végétale, le type d'exploitation, la présence de feu et d'élevage, ainsi que la présence et le nombre d'arbre coupé.

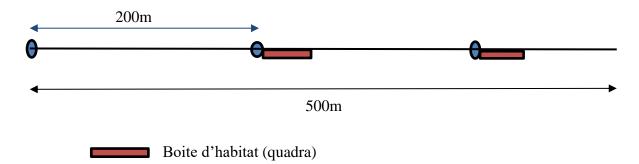


Figure 4. Schéma de la méthode utilisée pour l'étude des papillons

2.3 Méthodes d'analyses

Les données ont été classées et analysées au moyen du tableur Excel 2013. Les cartes produites se sont faites sous MaxEnt version 3.3.3k. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R.

2.3.1 Détermination des variables des papillons de jour

- Courbes d'accumulation des espèces et/ou familles

Pour vérifier si l'effort d'échantillonnage a été suffisante, les courbes d'accumulation des familles de papillon de jour ont été obtenue en traçant simplement le nombre de famille découvert en fonction de l'effort d'échantillonnage (Marcon, 2015). La courbe d'accumulation est générée en utilisant le package « vegan », avec 100 permutations au hasard pour supprimer le biais (Colwell, 2006; Marsh, 2008).

La biodiversité des papillons est estimée au moyen de plusieurs indices :

- L'indice de Shannon-Weaver permet d'exprimer la diversité en prenant en compte le nombre d'espèces et l'abondance des individus au sein de chacune de ces espèces. Ainsi, une communauté dominée par une seule espèce aura un coefficient moindre qu'une communauté dont toutes les espèces sont codominantes. La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominant très largement toutes les autres) à log S (lorsque toutes les espèces ont même abondance) (Grall and Coïc, 2006). Il est donné par la formule suivante :

S
$$H' = -\sum_{i=1}^{S} P_i \log_2 P_i$$

Où :

 $P_i \!\!=\!\! abondance \ proportionnelle \ ou \ pour centage \ d'importance \ de \ l'espèce : P_i = n_i/N;$

S= nombre total d'espèces;

n_i = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon;

N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

- L'indice d'équitabilité de Pielou (1966) permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Cet indice d'équitabilité permet d'exprimer la dominance d'une espèce lorsqu'il tend vers 0, la codominance de plusieurs espèces lorsqu'il tend vers 1(Grall and Coïc, 2006).

$$E = \frac{H'}{H'max}$$

Avec

$$H'max = Log_2(S)$$

Ou S est le nombre total d'espèces.

- La richesse spécifique RS est le nombre total d'espèces de la distribution observée,
- La **diversité des familles** est l'expression en pourcentage d'apparition de chacune des familles inventoriées dans les habitats.
- Le **coefficient de similarité de Jaccard** : cet indice permet de quantifier la similarité entre habitat. La similarité augmente avec la valeur de l'indice (AZIZI, 2015; ROUX and ROUX, 1967). Il se calcule de la manière suivante

$$Pj = \frac{c}{a+b+c} \times 100$$

Avec:

a = nombre d'espèces de la liste a (station a),

b = nombre d'espèces de la liste b (station b),

c = nombre d'espèces communes aux deux stations.

Ce coefficient Pj exprime la proportion d'espèces communes (c) par rapport aux espèces particulières (a et b) aux stations comparées deux à deux (AZIZI, 2015).

Si l'indice Pj augmente, un nombre important d'espèces se rencontre dans les deux habitats évoquant ainsi que la biodiversité inter habitat est faible (conditions environnementales similaires entre les habitats). Dans le cas contraire, si l'indice diminue, on ne rencontrera qu'un faible nombre d'espèces présentes sur les deux habitats. Ainsi, les espèces pour les deux habitats comparés sont totalement différentes indiquant que les différentes conditions de l'habitat déterminent un « turn-over » des espèces importantes (LANDEAU, 2008).

2.3.2 Espèces indicatrices

Les espèces indicatrices sont déterminées par l'utilisation de l'analyse de relation entre l'occurrence de l'espèce ou l'abondance dans les différents habitats dans le logiciel R utilisant le package indicspecies (Miquel De Cáceres, 2013). Il nécessite les données des communautés et les données et les données vectrices qui classifient les habitats. Quatre classes d'habitat sont utilisées : agroforesterie, forêt dégradée, forêt naturelle, et plantation (voir les détails dans Tableau 1) et 7 classes d'altitude de 200m de longueur. La fonction multipatt est utilisée pour déterminer la liste des espèces associées (espèces indicateurs) à un habitat particulier (ou à une combinaison des habitats) (Miquel De Cáceres, 2013) ou à une classe d'altitude (ou à une combinaison de classe d'altitude). Des tests de permutations (999 tests au hasard) sont générés pour tester le degré de signification. Les indices de « valeur indicateur » (IndValind) sont spécialement utilisés pour la prédiction d'une espèce comme indicateur d'une combinaison des groupes de sites. La valeur de l'indicateur (force d'association) est calculé comme le produit de deux quantités, appelées A et B (M.Dufrene et P.Legendre, 1997). La quantité A donne la probabilité qu'un site soit un membre de la combinaison site-groupe lorsque l'espèce a été trouvé (C'est-à-dire le pouvoir prédictif positif de l'espèce comme indicateur écologique de la combinaison site-groupe, Murtaugh 1996). La quantité B indique la probabilité de trouver l'espèce dans des sites appartenant au groupe de sites. En plus de savoir quelles espèces peuvent être des indicateurs des groupes de sites, il est parfois utile de connaître la proportion de sites d'un groupe de sites donné où l'un ou l'autre indicateur est trouvé(M De Cáceres, 2013). Nous appelons cette quantité : la « couverture » du groupe de sites. La détermination de la couverture du site peut être utiles pour les types d'habitat ou de végétation qui englobent des zones géographiques (De Cáceres et al, 2012), car il peut exister certaines zones où aucun des indicateurs valides ne peut être trouvé. Cette couverture peut être calculée pour tous les groupes de sites des habitats en utilisant la fonction : « coverage ». Par défaut, seule la signification statistique (Alpha = 0,05) déterminée en utilisant la fonction « multipatt » est utilisé pour déterminer quels sont les indicateurs valides.

2.3.3 Analyses statistiques

Afin d'identifier les facteurs environnementaux qui majoritairement, déterminent la différenciation de la distribution des espèces endémiques, nous avons utilisés l'analyse de la régression logistique multiple (GLM binomiale). L'objectif est de tester et de visualiser l'importance des différents facteurs environnementaux (variables explicatives) pour expliquer les différences au niveau de la répartition des espèces de papillons endémiques et non endémiques. La réalisation pratique d'un modèle de régression logistique comporte plusieurs étapes. La colinéarité entre les variables doit donc être vérifiée avant la modélisation.

Sur le plan pratique, l'obtention de notre model final basé sur le principe de la parcimonie, qui consiste à n'utiliser que le minimum de causes élémentaires pour expliquer un phénomène, utilise la procédure en

pas à pas descendante ou *backward elimination*. Cette procédure consiste à inclure toutes les variables explicatives et à retirer progressivement celles qui n'apportent pas suffisamment d'information au modèle. Avec cette méthode, on sélectionne le modèle en laissant de côté les variables qui ne sont pas significatives (P < 0,05) ou bien en utilisant un indice de parcimonie comme le critère d'Akaike (AIC, Akaike, 1974). La vérification de l'adéquation du modèle est faite à l'aide d'un calcul du R2 (R-carré ajusté), qui représente le pourcentage expliqué de variation de la variable dépendante (endémicité) par les variables explicatives (facteurs environnementaux) incluses dans le modèle.

2.3.4 Production des cartes de la diversité des papillons endémiques d'Anjouan

Pour une analyse ultérieure, seules les espèces endémiques des papillons d'Anjouan sont traitées dans ce chapitre. En outre, les papillons non-endémiques ne sont pas considérés comme préoccupant pour la conservation(Lewis et al., 1998). Ainsi un total de 5 cartes de diversité prédites a été généré sur les 9 espèces de papillons endémiques de l'ile, du fait que pour les espèces *Appias sabina comorensis*, *Pseudacraea glaucina anjouana*, *Pseudacraea lucretia comorana* et *Salamis humbloti* les données de présence sont insuffisantes : deux individus pour *A. sabina comorensis*, deux individus aussi pour *P. glaucina anjouana*, quatre individus pour *P. lucretia comorana* et *Salamis humbloti*.

La production des cartes de la diversité des papillons d'Anjouan est modélisée dans le programme MaxEnt, qui prédit la répartition géographique d'une espèce en fonction des conditions environnementales, dans les endroits où l'espèce est connue, en utilisant la méthode d'entropie maximale. Tous les modèles ont été exécutés en MaxEnt version 3.3.3k(Maxent software version, 2011). Cette analyse fait l'objet d'utilisation des points de présence et nécessite l'utilisation de 7 couches ou variables environnementales(Green, 2014) suivants :

- Forêt : distance par rapport au forêt.
- Infrastructures : distance par rapport à la route et des zones urbaines
- Rivière : distance par rapport à la rivière.
- Habitats : les différents types d'habitat
- Altitudes
- Aspects (Nord, Sud, Est, Ouest)
- Pente

Cet outil permet d'évaluer la distribution spatiale des taxa grâce à des données d'observation accompagnées de variables environnementales.

Principe de base

L'entropie correspond à la caractérisation statistique de l'information manquante(Kato Y., 2012). La méthode de maximum entropie (MaxEnt) correspond à la loi de probabilité permettant de prendre en

compte un maximum d'incertitude dans le processus de modélisation. Cette modélisation est réalisée à partir de données observées et en fonction des contraintes connues(Kato Y., 2012).

Fonctionnement

Sur un ensemble de pixel X (correspondant aux pixel de la zone d'étude) ; on prend plusieurs points de présence d'un phénomène (x1,...,xm) issus d'une distribution de probabilité inconnu π . L'objectif du model est d'approximer cette distribution en tenant compte des contraintes (variable environnementale) connues auxquelles elle est soumise (Kato Y., 2012).

Evaluation du modèle

Plusieurs analyses sont produites au cours du calcul du model afin d'évaluer sa pertinence. Parmi eux, les plus significatifs sont :

- L'AUC (Area Under Curve), plus elle est comprise entre 0 et 1, plus le model sera approprié aux données étudiées.
- Le jackknife consiste à une évaluation pour chaque variable, de son apport au modèle.

3 Résultat

3.1.1 Composition faunistique : diversité spécifique, générique et abondance des familles.

Durant la période 2009 à 2012, un total de 938 individus est enregistré dans 44 transects. Cet effectif est constitué de 37 espèces reparties en 21 genres et 7 familles (Acraeeidae, Charaxides, Danaidae, Nymphalidae, Papilionidae, Pieridae et Satyridae) dont 6 espèces endémiques, 11 sous-espèces endémiques et 20 espèces non endémiques (tableau 2 : les papillons rencontrés de 2009 à 2012). Dans la représentation des résultats, les espèces endémiques et les sous-espèces endémiques sont traités comme « endémiques ». Le nombre d'espèces varie de 23 à 31 dans les types d'habitat. Trois familles représentent 68,86% des effectifs ; il s'agit des familles de Pieridae (27,07%), Acraeeidae (24,63%) et Satyridae (17,16%). Le plus grand nombre de papillons est recensé pendant la saison humide et la majorité des espèces inventoriées y sont présentes à l'exception d'*Acrea masaris jodina* et *Belenois creona elisa*. La saison sèche ne présente que 72,97% des espèces inventoriées. Quatre espèces de papillons endémiques sont très rares : il s'agit de *Salamis humbloti*, *Pseudacraea glaucina anjouana*, *Pseudacraea lucretia comorana* et *Appias sabina comorensis*.

Tableau 3. Listes des espèces de papillon de jour échantillonnées : E=endémiques ; Ee=sous espèces endémiques ; NE= non endémiques

No.	Espèces	Famille	Endémicité	Saison humide	Saison sèche	Total général
1	Acraea dammii	Acraeeidae	NE	25	10	35
2	Acraea eponina	Acraeeidae	NE	6	18	24
3	Acraea igati	Acraeeidae	NE	14	7	21
4	Acraea lia	Acraeeidae	NE	15	3	18
5	Acraea masaris jodina	Acraeeidae	Ee	0	4	4
6	Acraea masaris masaris	Acraeeidae	Ee	39	36	75
7	Acraea neobule	Acraeeidae	NE	27	1	28
8	Acraea ranavalona	Acraeeidae	NE	12	14	26
9	Amauris ochlea moya	Danaidae	Ee	69	54	123
10	Appias sabina comorensis	Pieridae	Ee	1	21	22
11	Belenois creona elisa	Pieridae	Ee	0	2	2
12	Bicyclus anynana	Satyridae	NE	1	1	2
13	Byblia anvatara anvatara	Nymphalidae	NE	3	2	5
14	Catopsilia florella	Pieridae	NE	13	4	17
15	Charaxes nicati	Charaxides	E	4	9	13
16	charaxes viossati	Charaxides	E	1	0	1
17	Cynthia cardui	Nymphalidae	NE	1	0	1
18	Eurema brigitta pulchella	Pieridae	NE	1	0	1
19	Eurema floricola anjouana	Pieridae	Ee	31	73	104

20	Eurema regularis	Pieridae	NE	11	4	15
21	Eurema senegalensis	Pieridae	Е	35	25	60
22	Eurytela dryope lineata	Nymphalidae	NE	8	9	17
23	Henotesia comorensis comorensis	Satyridae	Ee	65	82	147
24	Henotesia subrufa	Satyridae	Е	5	4	9
25	Hypolimnas anthedon drucei	Nymphalidae	NE	1	0	1
26	Hypolimnas misippus	Nymphalidae	NE	3	0	3
27	Junonia oenone oenone	Nymphalidae	NE	20	16	36
28	Junonia rhadama	Nymphalidae	NE	4	0	4
29	Melanitis leda helena	Satyridae	NE	3	0	3
30	Mylothris humbloti	Pieridae	Е	9	24	33
31	Neptis comorarum comorarum	Nymphalidae	Ee	8	1	9
32	Papilio demodocus	Papilionidae	NE	8	4	12
33	Papilio epiphorbas guyonnaudi	Papilionidae	Ee	41	7	48
34	Phalanta phalanta aethiopica	Nymphalidae	NE	7	0	7
35	Pseudacraea glaucina anjouana	Nymphalidae	Ee	2	0	2
36	Pseudacraea lucretia comorana	Nymphalidae	Ee	6	0	6
37	Salamis humbloti	Nymphalidae	Е	3	1	4
Total				502	436	938

3.1.2 Courbes d'accumulation

La richesse spécifique est le nombre d'espèces d'un ou de plusieurs taxons présentes dans une aire donnée. La courbe d'accumulation des espèces a confirmé qu'il y avait des efforts d'échantillonnage suffisant pour les familles des papillons de jour, plafonnant à sept (7). Cependant, les courbes de papillons endémiques et non endémiques ont suggéré qu'il y avait des efforts d'arpentage insuffisant pour ces taxons. La richesse spécifique S des papillons diurnes atteint 31 espèces sur les zones d'agroforesteries et 26 espèces sur les plantations. Les habitats des zones forestières : forêt naturel et forêt dégradé abritent chacune respectivement 28 espèces et 23 espèces de papillons. Dans ces habitats, la proportion des papillons endémiques est sensiblement plus élevée dans les forêts naturelles par rapport aux autres sites.

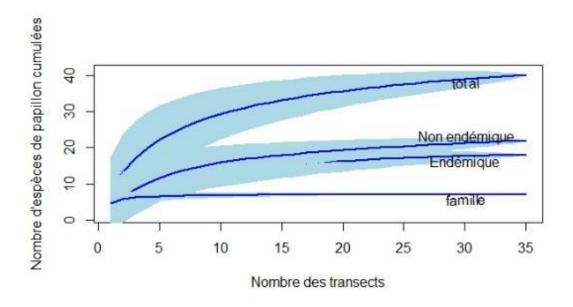


Figure 5. Accumulation des espèces de papillons en fonction des transects

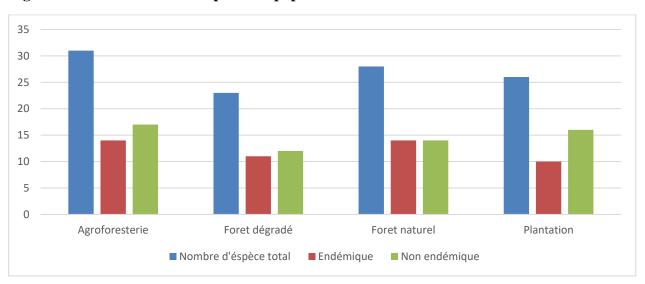


Figure 6. Nombre d'espèce de papillons endémiques et non endémiques enregistrés dans chaque habitat. Le nombre total d'espèces, γ, est aussi représenté

3.1.3 Indices de diversité

3.1.3.1 Indice de similitude de Jaccard

Cet indice est un indice de similarité entre deux habitat (LANDEAU, 2008). Les différences des répartitions des espèces de papillons dans les différentes structures d'habitats et dans les différentes strates d'altitudes s'expriment respectivement dans les tableaux suivants.

Tableau 4. Indice de similitude de Jaccard dans les différents types d'habitat

Indice de Jaccard « Pj »	Agroforesterie	Forêt dégradé	Forêt naturel
en (%)			

Forêt dégradé	54		
Forêt naturel	58	53	
Plantation	45	50	54

Au cours de l'évolution, on remarque que plus de 50% des papillons diurnes sont communes entre les agroforesteries et les forêts dégradées et naturels d'une part ; Et entre les forêts et les zones de plantations d'autre part. De même, 45% des papillons sont conservés entre les zones d'agroforesteries et les zones de plantations. On remarque à travers ces résultats que les indices de similarité sont plus forts et apparaissent quand on croise des écosystèmes qui se suivent dans une succession de stade d'évolution défini par la dynamique naturelle (en partant du stade « plantation » pour arriver au stade « forêt naturel »).

Tableau 5. Indice de similitude de Jaccard dans l'altitude : A= [100 ; 300[, B= [300 ; 500[, C= [500 ; 700[, D= [700 ; 900[, E= [900 ; 1100[, F= [1100 ; 1300[et G= [1300 ; 1595[

Indice de Jaccard	A	В	С	D	Е	F
« Pj » en %						
В	74					
С	78	41				
D	68	69	70			
Е	79	72	68	57		
F	87	92	88	68	75	
G	94	99	98	98	97	93

En générale, l'indice de Jaccard est plus fort en fonction du gradient altitudinale. Cet indice est très élevé en comparant les altitudes supérieures à 900 m par rapport aux autres altitudes comme le montre le tableau 4.

3.1.3.2 L'indice de Shannon-Weaver et indice d'équitabilité de Piélou

La diversité spécifique comprend à la fois la mesure des nombres des espèces et la mesure de la régularité de la distribution des espèces (équitabilité).

L'indice de Shannon H' est relativement élevé (supérieur à 1) dans les différents types d'habitats ainsi que dans les altitudes au-delà de 300m d'élévation. Sa valeur maximale pour les papillons de jour à

Anjouan est de 4,95. Elle s'élève à 3,01 dans les agroforesteries et diminue progressivement de la forêt naturelle aux plantations vers la forêt dégradée (tableau 5).

Tableau 6. Indice de diversité de Shannon-Weaver et indice d'équitabilité de Piélou

Types d'habitat	Indice de diversité	Diversité maximale	Indice d'équitabilité
	H'	H'max	Е
Agroforesterie	3,01	4,95	0,61
Forêt dégradé	2,56	4,52	0,57
Forêt naturel	2,71	4,81	0,56
Plantation	2,63	4,70	0,56

Les altitudes allant de 300 m à 900 m d'élévation montrent une valeur faiblement élevée de cet indice qui atteint 2,89. Plus on s'éloigne de cet intervalles d'altitude et plus l'indice de Shannon diminue jusqu'à ces valeurs minimales en dessous de 100m et au-delà de 1500m d'altitude (Tableau 6).

Les indices d'équitabilité sont moins élevés dans les différentes couvertures forestières à l'exception des agroforesteries dont l'indice atteint 0,6 (tableau 5). Cet indice est élevé dans les différentes strates altitudinales exceptés les strates altitudinales comprises entre 900 et 1100 m et 1100 et 1300 m dont les indices sont respectivement 0,51 et 0,50 (tableau 6).

Tableau 7. Indices de diversité de Shannon Weaver et d'équitabilité de Piélou dans l'altitude : A= [100 ; 300[, B= [300 ; 500[, C= [500 ; 700[, D= [700 ; 900[, E= [900 ; 1100[, F= [1100 ; 1300[et G= [1300 ; 1595]

Classe d'altitude	Indice de diversité H'	Diversité maximale H'max	Indice d'équitabilité E
A	2,40	4,08	0,59
В	2,89	4,80	0,60
С	2,76	4,80	0,58
D	2,63	4,39	0,60
Е	2,29	4,52	0,51
F	1,41	2,80	0,50
G	1,04	1,58	0,66

3.1.3.3 Mesure de la richesse spécifique

La mesure de la richesse spécifique découle des diversités Alpha (α), Beta (β) et Gamma (γ)

Tableau 8. Définitions des diversités α , β et γ

Diversité α	La diversité alpha est la diversité des espèces dans une communauté –un				
	habitat (Huston, 1997).				
	La diversité α est une mesure du nombre d'espèces présentes dans un habitat				
	uniforme de taille fixe à un temps donné. (Wikipédia)				
Diversité γ	La diversité y est le taux d'addition de nouvelles espèces quand on				
	échantillonne le même habitat en différents endroits. Elle correspond donc à la				
	diversité à l'échelle régionale. (Wikipédia)				
Diversité β	La diversité béta correspond à l'importance du remplacement des espèces, ou				
	des				
	changements biotiques, le long de gradients environnementaux (Whittaker,				
	1972). La diversité béta mesure donc le gradient de changement de la diversité				
	entre différents habitats, sites ou communautés.				
	ou				
	La diversité bêta (diversité-β) est une mesure de la biodiversité qui consiste à				
	comparer la diversité des espèces entre écosystèmes ou le long de gradients				
	environnementaux. Cela suppose de comparer le nombre de taxons qui sont				
	uniques à chacun des écosystèmes. C'est le taux de variation en composition				
	d'espèces dans l'ensemble des habitats ou parmi des communautés.				
	(wikipédia)				

Le nombre d'espèces total (gamma) varie de 23 à 31 espèces d'un type d'habitat à un autre. Le nombre moyen d'espèces de papillons qu'on rencontre également dans ces types d'habitats varie de 7,22 à 9. Le taux de variation en composition d'espèces dans l'ensemble de ces zones varie de 2,06 à 2,72.

Tableau 9. Diversité α, β et γ

	Alpha α	Beta β	Gamma γ
Agroforesterie	8,34	2,72	31
Forêt dégradé	7,51	2,06	23
Forêt naturel	9,00	2,11	28
Plantation	7,22	2,60	26

L'agroforesterie renferme le nombre maximal de Gamma, soit 31 espèces de papillon. Il est un constat que dans chaque site de cet habitat le nombre moyen d'espèce rencontrée s'élève à 8,34. En revanche, la composition en espèces dans cette couverture végétale peut la classer en trois catégories plus ou moins hétérogène. La forêt dégradée est celle qui possède un nombre réduit d'espèces soit 23 espèce de papillons. Le nombre moyen d'espèce par site se situe autour de sept.

3.2 Les espèces indicatrices

Les espèces sont choisis comme indicatrices (Miquel De Cáceres, 2013) si elles (a) reflètent l'état biotique ou abiotique de l'environnement; (b) fournissent des preuves pour les impacts des changements environnementaux; ou (c) prédisent la diversité des autres espèces, les taxons ou les communautés dans une zone.

3.2.1 Les espèces indicatrices de l'habitat

L'analyse des espèces de papillons indicatrices de l'habitat avec l'utilisation du package indicspecies et la fonction multipatt avec un degré de signification (alpha=0.05) sans combinaison de site a sélectionné cinq (5) espèces hautement significatives, parmi les 37 espèces disponibles. Le même model avec combinaison de sites sélectionne quatre (4) espèces de papillons. *Papilio epiphorbas guyonnaudi* est un indicateur des zones agroforestières car il apparait dans les sites appartenant à cette classe d'habitat (P=0.007 **). Il n'est ni spécifique, ni fidèle à l'agroforesterie (A= 0,50; B=0,17). *Eurema floricola anjouana, Acraea dammii, Acraea eponina, Catopsilia florella* sont les meilleures espèces indicatrices des zones de plantation. *Acraea eponina* et *Catopsilia florella* sont spécifiques aux zones de plantation. Parmi les espèces sélectionnées, aucune espèce n'est associée à un habitat forestier significativement. Cependant, *Acraea dammii* est un bon indicateur de la combinaison des habitats agroforestière et plantation, *Acraea ranavalona* pour la forêt dégradé et l'agroforesterie et *Eurema floricola anjouana* pour les plantations, agroforesterie et forêt dégradé, du fait qu'ils pourraient seulement se rencontrer fortement dans ses habitats (tableau 9).

Tableau 10. Les espèces de papillons diurnes significativement indicateurs d'habitat. A : la probabilité que le site étudié appartient au groupe du site cible, étant donné que l'espèce a été trouvée ; B : la probabilité de trouver l'espèce dans des sites appartenant au groupe de sites.

	Habitat	Espèces	A	В	Force	Valeur de
			(spécificité)	(fidélité)	d'association	P (α=0.05)
	Agroforesterie	Papilio epiphorbas	0,50	0,17	0,29	0.008 **
		guyonnaudi				
	Forêt dégradé	Henotesia comorensis co morensis	0,28	0,30	0,29	0,651
	Forêt naturel	Appias Sabina comorensis	1	0,02	0,15	0,155
es sites	Plantation	Eurema floricola anjouana	0,52	0,26	0,37	0.003 ***
Sans combinaison des sites		Acraea dammii	0,51	0,12	0,25	0.014 *
ombina		Acraea eponina	0,72	0,09	0,25	0.006 **
Sans c		Catopsilia florella	0,64	0,07	0,22	0.023 *
	Plantation	Acraea eponina	0,72	0,09	0,25	0.011*
		Catopsilia florella	0,64	0,07	0,22	0.040 *
Avec combinaison des sites	Forêt dégradé+ Agroforesterie	Acraea ranavalona	0,90	0,07	0,26	0,016*
	Plantation + Agroforesterie	Acraea dammii	0,81	0,09	0,28	0,015*
	Plantation + Forêt dégradé	Eurema floricola anjouana	0,71	0,21	0,39	0,012*
Avec co	Plantation +forêt naturel	Amauris ochlea moya	0,65	0,27	0,42	0,018*

3.2.2 Couverture des groupes de sites cibles par des espèces indicatrices

Pour obtenir la couverture, nous devons saisir des données de la communauté des papillons et les différentes classes d'habitats. On obtient les résultats suivants :

Tableau 11. Proportion de la couverture des espèces indicatrices en fonction des habitats.

Types d'habitats	Agroforesterie	Forêt dégradé	Forêt naturel	Plantation
Proportion du	17,42	0	0	37,03
couvert(en %)				

Dans ce cas, la forêt dégradée et la forêt naturelle ont des couvertures de 0%; En revanche, l'agroforesterie a une seule espèce, *Papilio épiphorbas guyonnaudi*, qui peut être considérée comme un indicateur de groupe de ce site, mais ne se rencontre pas toujours dans les sites du groupe. La couverture des sites de plantation s'élève à 37,03% pour toutes les espèces indicatrices.

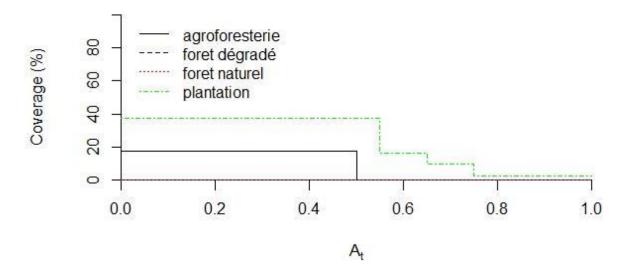


Figure 7. Proportion de la couverture des espèces indicatrices en fonction des habitats (la valeur A : spécificité est prise en charge).

3.2.3 Les espèces indicatrices de l'altitude

L'analyse des espèces de papillons indicatrices de l'altitude avec l'utilisation du package indicspecies et la fonction multipatt avec un degré de signification (alpha=0.05) sans ou avec combinaison de strate a sélectionné 10 espèces de papillon hautement significative. Parmi ces 10 espèces, huit espèces sont principalement associées aux altitudes faibles ou faibles et intermédiaires et deux espèces, pour les altitudes hautes et intermédiaires (tableau 11).

Tableau 12. Les espèces de papillons diurnes significativement indicateurs d'altitude. A : la probabilité que le site étudié appartient au groupe du site cible, étant donné que l'espèce a été trouvée ; B : la probabilité de trouver l'espèce dans des sites appartenant au groupe de sites.

	Altitude	Espèces	A	В	Force	Valeur de
			(spécificité)	(fidélité)	d'association	P (α=0.05)
	[100;500[Eurema floricola anjouana	0,67	0,36	0,49	0.001 ***
		Eurema senegalensis	0,69	0,27	0,43	0.001 ***
		Papilio epiphorbas guyonnaudi	0,61	0,23	0,37	0.002 **
		Junonia oenone oenone	0,56	0,21	0,35	0.007 **
de		Acraea ranavalona	0,67	0,14	0,31	0.005 **
altitude		Acraea lia	0,80	0,14	0,30	0.003
		Phalanta phalanta aethiopica	0,87	0,09	0,27	0.002 **
on		Eurema regularis	0,65	0,11	0,27	0.013 *
Sans combinaison d'	[500; 900[Melanitis leda Helena	1	0,02	0,15	0,112
com s	[900; 1500]	Amauris ochlea moya	0,61	0,40	0,49	0.001 ***
Sans	[500, 1500]	Mylothris humbloti	0,67	0,13	0,29	0.023 *
	[100;500[Eurema senegalensis	0,69	0,27	0,43	0.001 ***
		Junonia oenone oenone	0,56	0,21	0,35	0.037 *
		Acraea ranavalona	0,67	0,14	0,31	0.005 **
		Acraea lia	0,80	0,11	0,30	0.002 **
		Phalanta phalanta aethiopica	0,87	0,09	0,27	0,003**
altitude		Eurema regularis	0,65	0,11	0,27	0,034*
d,						
binais	[100; 500[et	Eurema floricola	0,98	0,25	0,50	0.001 ***
om	[500; 900[anjouana				
Avec combinaison	[300, 900]	Papilio epiphorbas guyonnaudi	0,95	0,17	0,41	0.002 **
,	[500; 900[et	Amauris ochlea moya	0,89	0,30	0,52	0.006 **
	[900; 1500]	Mylothris humbloti	0,96	0,09	0,29	0.031 *

3.2.4 Couverture des groupes de strates cibles par des espèces indicatrices

L'analyse de la couverture des données de la communauté des papillons et des différentes strates d'altitude a donné les résultats suivants :

Tableau 13. Proportion de la couverture des espèces indicatrices en fonction des altitudes.

Strates altitudinales	[100-500[[500-900[[900-1500[
Proportion du couvert(en %)	81,42	0	47,43

La strate altitudinale comprises entre 500 et 900m a une couverture de 0%. Toutefois, les strates comprises entre 100 et 500m et 900 et 1500m d'altitude ont respectivement 81,42% et 47,43%, montrant que les espèces indicatrices rencontrés dans ces strates d'altitudes ne se rencontrent pas forcement (à 100%) dans ces strates altitudinales.

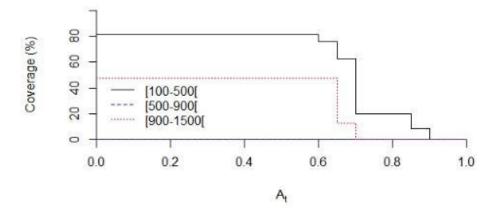


Figure 8. Proportion de la couverture des espèces indicatrices en fonction des altitudes (la valeur A : fidélité est prise en charge).

3.2.5 Les espèces indicatrices dû aux effets croisés de l'habitat et de l'altitude

L'analyse des espèces de papillons indicatrices résultant du croisement des effets de l'habitat et de l'altitude avec l'utilisation du package indicspecies et la fonction multipatt avec un degré de signification (alpha=0.05) avec combinaison des sites et des strates a donné également 10 indicateurs hautement significatives (tableau 13).

Tableau 14. Les espèces de papillons diurnes significativement indicateurs de l'habitat et d'altitude. A : la probabilité que le site étudié appartient au groupe du site cible, étant donné que l'espèce a été trouvée ; B : la probabilité de trouver l'espèce dans des sites appartenant au groupe de sites. Niveaux : 1 : agroforesterie ; 2 : forêt dégradé ; 3 : forêt naturel ; 4 : plantation ; 5 : [100 ; 500[; 6 : [500 ; 900[; 7 : [900 ; 1500]]

Groupes	Espèces	A	В	Force	Valeur de
		(spécificité)	(fidélité)	d'association	Ρ (α=0.05)
5	Acraea lia	0,46	0,11	0,23	0,037*
	Phalanta phalanta	0,50	0,08	0,21	0,007**
	aethiopica				
1+2+5	Acraea ranavalona	0,77	0,09	0,26	0,01*
1+5+6	Papilio epiphorbas	0,75	0,18	0,36	0,002**
	guyonnaudi				
4+5+6	Acraea eponina	0,84	0,07	0,24	0,015*
	Catopsilia florella	0,82	0,07	0,23	0,011*
1+2+4+5+6	Eurema floricola anjouana	0,95	0,21	0,45	0,001***
1+3+4+5+6	Eurema senegalensis	0,93	0,12	0,33	0,015*
1+4+5+6+7	Acraea dammii	0,91	0,09	0,29	0,043*
2+3+4+6+7	Amauris ochlea moya	0,86	0,27	0,48	0,027*

3.3 Sélection des habitats

L'habitat signifie le type de situation dans laquelle les organismes vivent (McDougall, 1927). Elle est aussi un ensemble d'éléments de l'écologie du paysage qui constituent le milieu et offrent les ressources naturelles suffisantes pour permettre à une population d'une espèce de vivre et de se reproduire normalement sur ce territoire.

La régression logistique multiple couplant les deux tableaux respectivement le tableau des 37 espèces de papillons (voir tableau 2) échantillonnées ou tableau de données à expliquer et le tableau écologique de sept variables environnementales (altitude, saisons et le type d'habitat forestier : Forêt naturel, forêt dégradé, Agroforesterie et Plantation) des sites ou tableau explicatif ont montré :

3.3.1 Les variables environnementales

La régression logistique multiple montre des différences significatives sur la répartition des papillons endémiques et non endémiques en fonction des variables environnementales. L'altitude, la saison sèche

et la forêt naturel sont statistiquement associées à la répartition des papillons endémiques (P< 0,05) et ceux toute chose égale par ailleurs. Ces facteurs sont également associés à la distribution des papillons endémiques négativement (tableau 14 : colonne estimate).

Tableau 15. Variables explicatives indépendantes associées à la répartition des papillons endémiques et non endémiques d'Anjouan : résultats de l'analyse multi variée par régression logistique sur R (FD : forêt dégradé ; FN : forêt naturel ; PL : plantation et AG: agroforesterie)

Coefficients				
	Estimate	Std. Error	Z value	Pr (> z)
Intercept	0.1829585	0.2177386	0.840	0.40076
Altitude	0.0008685	0.0003052	-2.845	0.00444 **
Saison sèche	-0.6972177	0.1698840	-4.104	4.06e-05 ***
Forêt dégradé	-0.4136797	0.2501033	-1.654	0.09812.
Forêt naturel	-0.7115824	0.2436882	-2.920	0.00350 **
Plantation	-0.0634452	0.1972369	-0.322	0.74770

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 942.42 on 769 degrees of freedom Residual deviance: 901.24 on 764 degrees of freedom

AIC: 913.24

Ajustés sur les autres variables, le facteur le plus fortement associé négativement à la répartition des papillons endémiques est la saison sèche (OR ajustés=0,49 79). L'altitude est également liée négativement, mais moins fortement à une meilleure qualité de la répartition des papillons endémiques (OR ajustés=0,99 91). Donc, une augmentation de l'altitude diminue le taux d'endémicité. L'existence du type d'habitat tel la forêt naturel est également lié négativement (OR ajustés=0,49 08) par rapport à l'agroforesterie. La force d'association du model (R-carré ajusté) est égal à 7,37 %.

Tableau 16. Résultats des odds ratio (OR) ajustés des variables explicatives indépendantes ; $\exp(\beta)$ = exponentielle beta.

Variables explicatives	Coefficient β	OR ajustés=exp(β)
Altitude	-0,0008685	0,99 91
Saison sèche	-0,6972177	0,49 79
Forêt dégradé	-0,4136797	0,66 12
Forêt naturel	-0,7115824	0,49 08
Plantation	-0,0634452	0,93 85

3.4 Carte de la diversité des papillons endémiques d'Anjouan

Après la production des cartes de la diversité des papillons endémiques d'Anjouan, un total de cinq cartes de diversité prédites a été généré sur MaxEnt 3.3.3k. Il s'agit des cartes de distribution de : *Amauris ochlea moya*, *Henotesia subrufa*, *Mylothris humbloti*, *Neptis comorarum comorarum* et *Papilio epiphorbas guyonnaudi*. Le tableau 16 expose en pourcentage les contributions de chacune des variables environnementales dans la modélisation de la répartition des cinq espèces de papillons endémiques d'Anjouan sur les neuf espèces connues. Il est à noter que notre étude (nos transects) se limitaient dans les zones de plantation, agroforesterie, forêt dégradé et forêt naturel mais pas dans les zones d'habitation qui se situent en majorité en basse altitude et dans les zones côtières.

Tableau 17. Contribution des variables environnementales dans la modélisation de la répartition des cinq espèces de papillons endémiques de l'ile d'Anjouan.

	Forêts	Infrastructures	Altitudes	Rivières	Pentes	Aspects	Habitats	AUC
Amauris ochlea moya	50,4%	13,6%	8,3%	13,9%	5,1%	5,9%	2,7%	0,92
Henotesia subrufa	30,7%	0,00%	0,00%	66,2%	0,00%	2,9%	0,2%	0,93
Neptis comorarum comorarum	89%	0%	0%	5,1%	2,9%	0%	3%	0,95
Papilio epiphorbas guyonnaudi	13,1%	43,9%	6,1%	5,7%	3,3%	21%	6,8%	0,94
Mylothris humbloti	35,9%	12%	18,7%	3,8%	2,1%	12,3%	15,3%	0,98

Les valeurs du test de jacknife ont permis d'identifier trois variables ayant contribué davantage à la modélisation. Il s'agit des forêts, des rivières et des infrastructures (Tableau 16). La modélisation a donné des AUC strictement supérieure à 91% pour tous les espèces, ce qui suggère une bonne capacité du modèle à prédire les zones favorables aux espèces de papillons endémiques. Les zones de couleur bleu ne répondent pas mieux aux modalités de répartition spatiale des espèces de papillons endémiques.

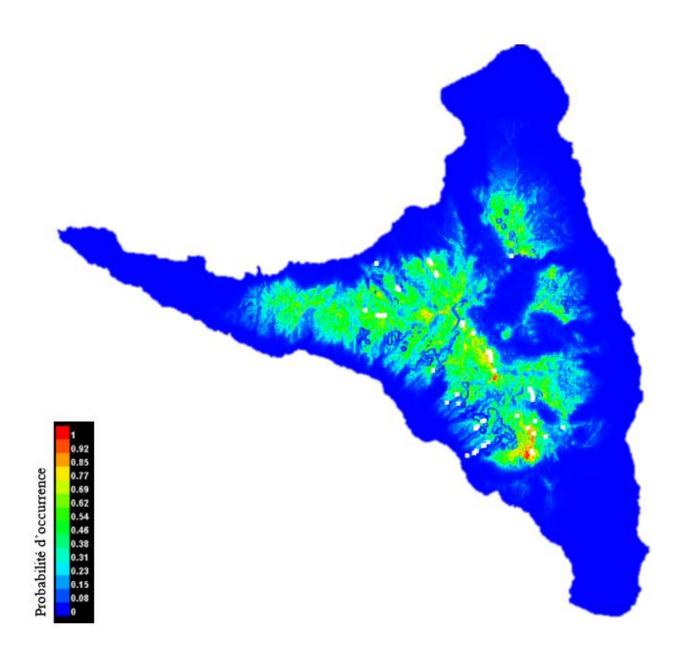


Figure 9. Modélisation de la répartition spatiale et probabilité d'occurrence de *Amauris ochlea moya*.

Pour *Amauris ochlea moya*, l'AUC est de 92% avec les variables retenues dans le modèle, ce qui traduit une très bonne capacité de discrimination du modèle. Les variables les plus explicatives de la répartition du modèle sont, par ordre décroissant : les forêts, les rivières, les infrastructures, l'altitude, l'aspect, les pentes et l'habitat. Les deux variables qui ont eu le plus de poids pour la réalisation de ce model sont les forêts et les rivières. Plus on se dirige du centre de l'ile, plus la probabilité de rencontre de l'espèce augmente ; ce qui est pertinent car le centre de l'ile abrite les reliques des forêts restantes et des rivières, dans la région sud-ouest.

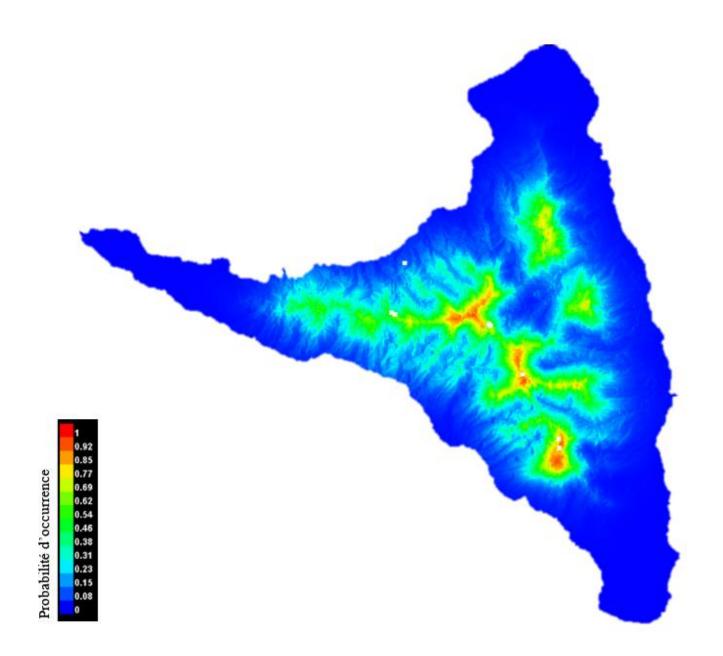


Figure 10. Modélisation de la répartition spatiale et probabilité d'occurrence de Henotesia subrufa.

Pour *Henotesia subrufa*, l'AUC est de 93% avec les variables retenues dans le modèle, ce qui traduit également une très bonne capacité de discrimination du modèle. Les variables les plus explicatives de la répartition du modèle sont, par ordre décroissant : Les rivières, les forêts, l'aspect et l'habitat. Les rivières et les forêts sont les deux variables qui ont le plus de poids à la réalisation de ce modèle. La probabilité de rencontrer l'espèce est plus élevé dans le centre de l'ile qui abrite les reliques forestières et les rivières. L'espèce se distribue dans une grande surface.

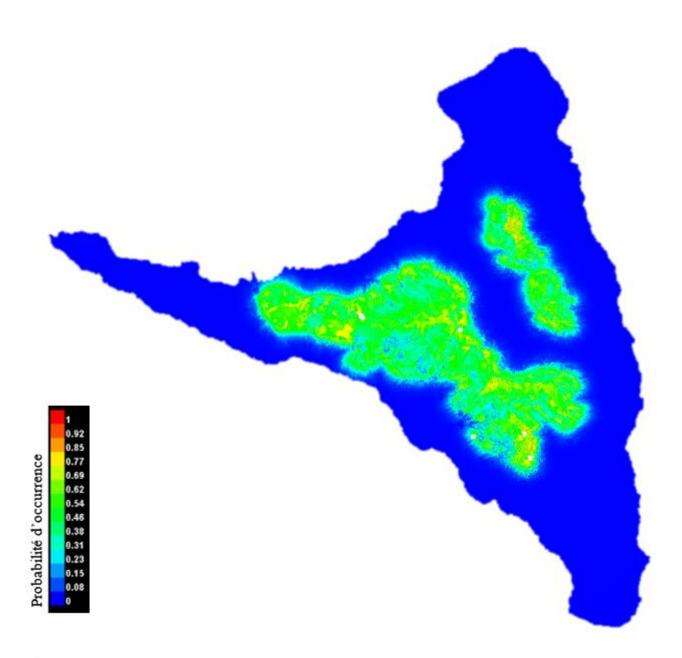


Figure 11. Modélisation de la répartition spatiale et probabilité d'occurrence de *Neptis comorarum* comorarum.

Pour *Neptis comorarum*, l'AUC est de 95% avec les variables retenues dans le modèle, ce qui traduit également une très bonne capacité de discrimination du modèle. Les variables les plus explicatives de la répartition du modèle sont, par ordre décroissant : forêts, rivières, habitats et pentes. La forêt est la variable qui a le plus de poids à la réalisation de ce modèle. La probabilité de rencontrer l'espèce est plus élevé dans la partie sud-ouest du centre de l'ile abritant la majorité des reliques forestières de l'ile et dans le nord-est de l'ile qui abrite également des petits blocs de forêts restantes.

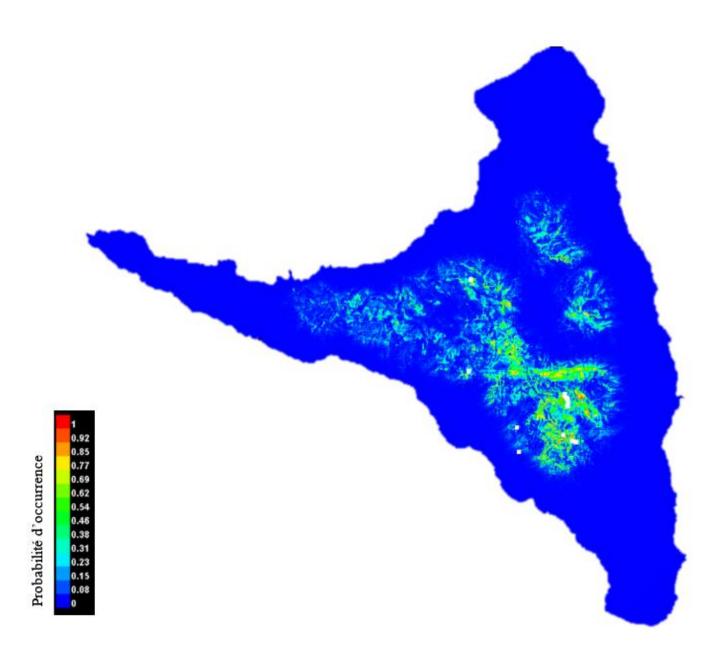


Figure 12. Modélisation de la répartition spatiale et probabilité d'occurrence de Mylothris humbloti.

Pour *Mylothris humbloti*, l'AUC est de 98% avec les variables retenues dans le modèle, ce qui traduit également une très bonne capacité de discrimination du modèle. Les variables les plus explicatives de la répartition du modèle sont, par ordre décroissant : les forêts, l'altitude, les habitats, l'aspect, les infrastructures, les rivières et les pentes. Les forêts et l'altitude sont les deux variables qui ont le plus de poids à la réalisation de ce modèle. La probabilité de rencontrer l'espèce est plus élevé dans le centre de l'ile qui abrite les reliques forestières qui se situent en altitude.

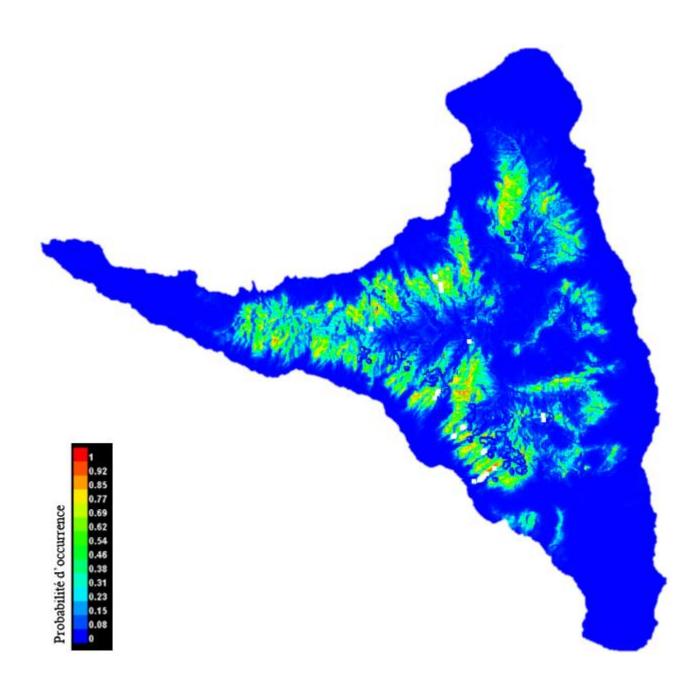


Figure 13. Modélisation de la répartition spatiale et probabilité d'occurrence de *Papilio epiphorbas guyonnaudi*.

Pour *papilio epiphorbas guyonnaudi*, l'AUC est de 94% avec les variables retenues dans le modèle, ce qui traduit également une très bonne capacité de discrimination du modèle. Les variables les plus explicatives de la répartition du modèle sont, par ordre décroissant : Les infrastructures, l'aspect, les forêts, l'habitat, l'altitude, les rivières et les pentes. Les infrastructures et l'aspect sont les deux variables qui ont le plus de poids à la réalisation de ce modèle. La probabilité de rencontrer l'espèce est plus élevé dans les zones périphériques dont les altitudes sont moyennes et à proximité des aires urbaines.

4 Discussion

4.1 Composition faunistique

Le nombre d'espèce gamma par plot varie de 23 à 31 espèces avec une valeur plus haute dans les agroforesteries. Ainsi, en comparant chaque plot de la richesse spécifique, il semble que selon le type d'habitat on ne retrouve pas les mêmes espèces (annexe 1). Cette différence peut s'expliquer par (LANDEAU, 2008):

- Le nombre de transects différents réalisé dans chaque habitat, et donc la surface d'échantillonnage pour chaque habitat,
- L'expression des facteurs environnementaux qui peut faire varier la distribution de ces espèces au sein d'un même habitat,
- L'activité agricole et forestière qui reste le principal responsable du changement de la biodiversité.

Pour l'endémicité, Nos résultats suggèrent que le nombre d'espèces endémiques rencontrés dans les agroforesteries et forêt naturel est élevé par rapport aux autres habitats. Ces résultats peuvent être confronter aux études faites précédemment, montrant que les points chauds de la richesse endémique des papillons ont été concentrés à mi- altitudes dans les forêts perturbées (Marsh, 2008). Cette différence n'est pas très marquante dans la mesure ou les agroforesteries et les forêts naturelles et/ou dégradés se situent dans les altitudes moyennes ou hautes. De plus, elle peut être due au fait que les périodes d'échantillonnage, les saisons et les méthodes d'analyse utilisées sont différentes. Ces faits ajoutés aux agroforesteries qui sont des zones modifiées par l'homme, peuvent offrir aux papillons une atmosphère favorable. En effet, à cause de l'augmentation d'une variété de végétation dans les agroforesteries comme les cultures vivrières (bananes, taros, manioc...etc), les arbres fruitiers (fruit à pain, manguiers, jacquier, oranger, bigaradier ...etc), les arbres introduites (Eucalyptus, Psidium cattleyanium, Lantana camara, Girofliers...etc), les plantes forestières et/ou endémiques (Tambourissa leptophylla, Weinnmania comorensis, Mpapa ...etc), ces zones présentent une tolérance des menaces progressives dues aux effets du changement de l'homme. Ainsi l'augmentation de la complexité du paysage a eu un effet positif sur la richesse des espèces de papillons (Jonason D et al., 2011). Pour les espèces de papillons endémiques rares, on doit intensifier les recherches car ces espèces sont probablement considérées comme des espèces en danger en matière de conservation.

A propos de la courbe d'accumulation, les courbes de papillons endémiques et non endémiques n'ont pas atteints les plateaux (figure 8) dans la mesure ou les financements ont été limités. Ces résultats sont conformes à ceux de (Marsh, 2008).

4.2 Indices de diversité

4.2.1 Indices de similitude de Jaccard

Les fortes relativités de l'indice de Jaccard dans les différentes couvertures forestières montrent qu'on ne rencontrera qu'un grand nombre d'espèces présentes à la fois dans deux habitats. Cela évoquant ainsi que la biodiversité inter-habitat est faible. Dans ce cas (DE BELLO et al., 2007) explique que, les espèces pour les deux habitats comparés ne sont pas totalement différentes indiquant une homogénéisation des différentes conditions de l'habitat. Il y a donc tolérance des conditions environnementales au sein des taxons. Ce résultat permet de suivre l'évolution de la composition des papillons le long du gradient de la couverture forestière. Une grande partie des espèces est conservée, ceci témoigne de l'adaptation des espèces ubiquistes(LANDEAU, 2008).

En fonction des strates altitudinales l'indice de Jaccard est fortement élevé à l'exception près des strates A et B (300 à 500 m et 500 à 700 m) dont l'indice est de 41%. Autrement dit, un nombre important d'espèce se rencontre à la fois dans les divers gradients altitudinaux. Toutefois, les altitudes comprises entre 300 et 500 m d'une part et 500 et 700 m d'autre part, montrent un indice qui est faible, indiquant un faible nombre d'espèce de papillons diurnes rencontré dans ces deux strates altitudinales. D'où la diversité spécifique est élevée dans ces deux strates d'altitudes. Ces résultats sont plus ou moins comparables à ceux de (Chakira et al., 2015) (Annexe 2) montrant que les strates altitudinales supérieurs à 1100m présentent une di similarité d'espèces de papillons par rapport aux altitudes inferieurs. Et, cela ne peut s'expliquer que par le nombre limité d'espèces de papillons rencontrés à ce niveau par rapport aux autres altitudes ; Mais aussi, à la différence des espèces qui contribue à former les communautés dans les différentes altitudes (Chakira et al., 2015).

4.2.2 Indice de Shannon Weaver et indice d'équitabilité de Piélou

L'indice de Shannon varie en fonction du type d'habitat. La valeur la plus élevée, 3,01 est obtenue dans l'agroforesterie; Elle est inférieure à sa valeur maximale à Anjouan, 4,95. Cette forte valeur traduit une grande diversité et une bonne reconstitution de la diversité des papillons diurnes, sans doute en raison des conditions favorables du milieu.

Quant à l'altitude, l'indice de Shannon varie également selon les strates d'altitude. La valeur la plus élevé, 2,89 est obtenue dans les altitudes comprises entre 300 et 500 m auxquels on observe également sa valeur maximale qui est de 4,80. Ce qui traduit également une diversité importante des papillons dans ces strates altitudinales et les individus des espèces de papillons ne sont pas reparties de façon égale sur toutes les espèces. Les faibles indices de diversité observés sur les altitudes supérieurs à 1100 m pourraient s'expliquer par une faible diversité des papillons dans ces altitudes (Chakira et al., 2015).

Les zones d'agroforesteries et les altitudes comprises entre les intervalles [100 ; 900 m [et [1300 ; 1595m] ont des valeurs élevés d'équitabilité. Ces valeurs traduisent une bonne répartition des individus au sein des espèces. Les forêts et les zones de plantation ainsi que les altitudes comprises entre 900 et 1100 m et 1100 et 1300 m enregistrent des petites valeurs d'équitabilité. Ces faibles valeurs traduisent la dominance des effectifs par quelques espèces. C'est le cas de certaines espèces tels qu'Amauris Ochlea moya, Henotesia comorensis comorensis et Mylothris humbloti qui sont très abondants dans les hautes altitudes.

4.2.3 Mesure de la richesse spécifique

Le taux de variation en composition d'espèces dans l'ensemble des zones agroforestières et des zones de plantation s'élève respectivement à 2,72 et 2,60. Cela montre que les compositions des espèces de papillons diurnes dans ces zones tendent à se différencier en trois groupes de communautés distincts. Le nombre moyen d'espèce de papillon qu'on rencontre est de 8,34 pour les zones d'agroforesterie parmi les 31 espèces recensés et 7,22 pour les plantations parmi les 26 recensés. Ce taux de changement dans la composition en espèce de papillon dans les milieux forestiers naturels et dégradés s'arrange respectivement à 2,11 et 2,06. Cela montre que la composition des espèces de papillons dans ces blocs forestiers est hétérogène et on rencontre en moyenne 9 espèces de papillon dans les forêts naturelles et 7,51 espèces pour les forêts dégradées.

4.3 Les espèces indicatrices

Le site d'étude, très vaste en surface, présente des milieux très diversifiés : plantation, agroforesterie et forestiers et une grande variabilité d'altitude. La réponse observée sur la sélection des habitats par les espèces dépend des caractéristiques du site mais aussi de l'échelle d'étude (Bellamy and Altringham, 2015), et de la représentativité des données d'observation utilisé.

Deux espèces ont été des indicateurs significatifs, dans les deux premières analyses (l'analyse des espèces indicatrices de l'habitat et celle de l'altitude), *Acraea ranavalona* était à la fois dans les zones agroforestière et forêt dégradé et des altitudes basses, alors que *Eurema floricola anjouana* était un indicateur des zones de plantation, agroforesterie et forêt dégradé et des zones de basse altitudes. La troisième analyse combinant les effets croisés de l'habitat et de l'altitude a donné 10 indicateurs. Ce plus grand nombre d'indicateurs est susceptible d'être dû à la description des conditions environnementales des sites échantillonnés obtenus en croisant les deux facteurs (tableau 14). Plus important encore, la troisième analyse a clarifié la situation que chaque espèce indiquait le mieux. Par exemple, *Acraea dammii* était un indicateur des sites modifiés par l'homme (plantation et agroforesterie) dans la première analyse, mais la troisième analyse a révélé que son occurrence n'est pas limitée à une strate d'altitude mais elle se rencontre dans tous les niveaux d'altitude. Donc, il est indépendant de l'altitude. Bon nombre des espèces

indicatrices trouvées dans notre étude sont importants du point de vue de la conservation car ils représentent des espèces endémiques.

Utiliser une valeur d'association minimale d'IndVal_{ind} égale à 0,8 comme un seuil (De Cáceres, et al., 2010), aucune espèce n'est confirmée comme étant un très bon indicateur de combinaison des effets de l'habitat et des altitudes. Cela peut être expliqué par le fait que les papillons sont très mobiles. De plus, les habitats sont diversifiés et sont de très petite taille. Ce qui n'empêcherai pas que ces papillons sont partout.

4.4 Sélection d'habitat

Les résultats des analyses multi variés par régression logistique multiple, renseignent sur la distribution des papillons endémiques le long des gradients environnementaux. Ainsi, pour chaque variable explicative, les p-values sont inférieures à 0,05. Cela signifie que nos trois variables explicatives qui sont l'altitude, les saisons (sèche et pluie) et les types d'habitat (agroforesterie, plantation, forêt naturel et forêt dégradé) sont statistiquement associés à l'augmentation du taux d'endémicité des papillons. Plus précisément, une augmentation de l'altitude est statistiquement associée aux taux d'endémicité et ceux éventuellement à une variation saisonnière constante et aux différents types d'habitat maintenues constant. De la même façon, les différents types d'habitat sont statistiquement associées aux taux d'endémicité des papillons et ceux même compte tenu d'éventuels mesures de l'altitude et des variations saisonnières. De même, une variation saisonnière est statistiquement associée aux taux d'endémicité des papillons et ceux même compte tenu d'éventuels mesures d'altitude et des différents types d'habitats.

Remarquons que les signes du coefficient β sont négatifs pour les trois variables explicatifs (tableau 15). Ainsi, l'altitude, la saison sèche et la forêt naturel diminuent la probabilité de rencontrer une espèce de papillons endémique. En effet, selon leur amplitude (odds ratio), on peut dire que :

- Pour l'altitude : Quand on passe d'un cran altitudinal c'est-à-dire d'un cran à un cran supérieur, la probabilité de rencontrer une espèce de papillon endémique diminue d'environ 0,09%. 0,09% étant le complément de l'odds ratio qu'on a ici (0,99 91).
- Pour la variation de la saison : La saison sèche diminue également la probabilité de rencontrer une espèce de papillons endémique d'environ 50,21%.
- Pour la forêt naturelle : Quand on passe au niveau de la strate forestière naturelle, la probabilité de rencontrer une espèce de papillon endémique diminue aussi d'environ 50,92% par rapport à l'agroforesterie.

Comme la montré (Marsh, 2008) que l'altitude et l'habitat sont des prédicteurs significatifs, s'ajoute aussi selon ces résultats, la saison.

La vérification de la force d'association du model se fait en examinant le R² de Nagelkerke, (R-carré ajusté). Celui-ci représentant la variance expliquée par le model. En effet, il explique l'effet de la grandeur des résultats pour les paramètres. Dans notre étude, le R² s'élève à 0,0737, ce qui est jugé non satisfaisant. Ainsi, le model explique 7,37% de la variance de la variable dépendante, ici le taux d'endémicité. Ensuite, quant aux variables explicatifs, la saison en lui seul explique les résultats à 3,07%. Donc, c'est la saison qui explique au mieux la variable dépendante même si on n'a pas un bon model. La probabilité du model est faible et cela peut être liée au fait que les papillons sont très mobiles, donc ils passent d'un habitat à un autre habitat et la taille des populations est petite. De plus, la température et l'humidité ne sont pas évaluer dans cette étude et ce sont des facteurs intéressants pour la répartition des espèces. Et enfin, le nombre de transect établie sont insuffisants par rapport à la superficie de l'ile.

4.5 Répartition spatiale

La répartition géographique de chacun de ces espèces de papillon endémique est fortement influencé par les forêts, les rivières et les infrastructures. Le tableau 16 met en avant l'importance des forêts sur la répartition spatiale de *Amauris ochlea moya, Neptis comorarum comorarum* et *Mylothris humbloti*, et illustre de même respectivement la faible contribution des pentes, infrastructures, altitudes et habitats dans le processus. La proximité de la forêt est important sur la présence de ces espèces endémiques (annexe 3). En effet, la distance de la forêt doit être à petite échelle pour qu'elle contribue sur la présence des espèces endémiques. Ces espèces endémiques n'empêche pas de vivre dans les autres habitats telles les plantation et agroforesterie tant que la forêt est présente c'est-à-dire la distance entre les plantations et/ou agroforesteries est à petite échelle. On peut les trouver partout mais la forêt est important sur leur présence.

Pour *Papilio epiphorbas guyonnaudi*, ce sont les infrastructures et plus particulièrement les routes qui influencent d'avantage leur répartition spatiale. Les pentes ont une faible contribution sur sa répartition spatiale. Au fait, plus on s'éloigne des routes et des aires urbaines, plus la probabilité de présence de cette espèce augmente. Donc, l'éloignement des infrastructures urbaines favorise la probabilité d'occurrence de cette espèce (Annexe 3). Probablement, cette espèce fréquenterait mieux les côtes ouest de l'ile et est rencontré en moyenne et haute altitude dans les zones ouvertes et possédant une végétation ordinaire c'est-à-dire présence des arbres introduits telles que Eucalyptus, *Psidium cattleyanium, Lantana camara*....etc et des plantes endémiques telles *Wenmania comorensis*, *Tambourissa leptophylla*...etc.

Pour *Henotesia subrufa*, les différents outils de suivi indiquent la prépondérance des rivières sur la répartition spatiale de cette espèce avec une faible contribution des habitats voir même nulle pour l'altitude, les infrastructures et les pentes. En effet la proximité de la rivière contribue davantage sur la présence de cette espèce (annexe 3). Les bords des rivières et leur zone tampons possèdent une diversité d'écosystèmes liées à une diversité de plantes exogènes, fruitiers et endémiques. Elles offrent également

des espaces dégagées c'est-à-dire des zones ouvertes par les cultures des légumes, tomatesetc. permettant la pénétration de la lumière et donc des milieux favorables aux développements des espèces de papillons ; comme la mentionné (Chakira et al., 2015), que la présence du lac « hantsogoma » contribue à l'état effectif de la plupart des espèces de papillons et semble avoir un record élevé en endémicité par rapport aux autres sites car elle renferme une variété de végétation : légumes, arbres fruitiers, goyave rougeetc.

Il convient de noter que ces résultats ne sont que des modèles de prédiction beaucoup plus précise. Cependant, ces modèles ne montrent aucune espèce en basse altitude alors que ces derniers peuvent se reproduire et se rencontrer dans ces endroits. Cela ne peut s'expliquer par le fait que les relevés de terrain ne sont menés que dans les zones de moyenne et haute altitude et aucune donnée de présence n'était disponible dans les basses altitudes (Green, 2014).

Pour les espèces Appias sabina comorensis, pseudacrea glaucina anjouana, Pseudacrea lucretia comorana et Salamis humbloti, les données de présence sont considérées comme insuffisant : respectivement deux (2), deux (2), quatre (4) et deux (2) car ils sont inférieurs à cinq (5) et la qualité de la prédiction des cartes de distribution sera réduite à cause de ce petit nombre des points de présence. Ainsi ces espèces peuvent être considérés comme étant des espèces rares. Cette rareté peut être liée à divers facteurs dont la forte pression de leur habitat naturel due à l'effet de la déforestation et de l'exploitation du bois d'œuvre, à la non connectivité des différentes sous population due par l'absence des corridors entre les divers fragments de leur habitat et à une sous population génétiquement isolée qui est liée à la petite taille et à la petite structure des habitats car les papillons sont très mobiles.

4.6 Aspect de la conservation

Les habitats naturels (forêts) ont été particulièrement fragmentés au cours des dernières années à cause de l'exploitation agricole et de l'extraction du bois d'œuvre. Les papillons endémiques sont directement impactés par la fragmentation de leurs habitats qui conduit à l'isolement de certaines populations et à la diminution de leur effectif. Celles-ci deviennent alors plus sensible aux perturbations naturelles.

La conservation de la forêt naturel contribuera à la conservation des espèces endémiques dont dépendent leur vie(Lewis et al., 1998). Cependant, il est difficile de soutenir la conservation de ces espèces de papillons dans les habitats non forestiers. Dans notre étude nous constatons que le rapport des espèces endémiques est plus élevé dans l'habitat forestier mais les habitats non forestier (plantation et agroforesterie) renferment également un nombre assez élevé d'espèces de papillons endémiques. De plus, sur les neuf (9) espèces de papillons endémiques et spécifiques d'Anjouan recensés dans cette étude, les huit espèces se trouvent dans les habitats non forestiers et principalement les agroforesteries.

Il est à constater aussi qu'il existe une absence de connectivité des différentes populations due par :

- Des sous populations génétiquement isolées. Cela est liée à la petite taille de la population et à la petite structure des habitats du fait que les papillons sont très mobiles.
- A l'absence des corridors due par les fortes pressions des paysans dans les zones forestières. Ce qui conduit à la formation des fragments d'habitat forestières.

Il a été démontré également dans cette étude que la proximité des forêts et des rivières sont importants pour expliquer la présence des espèces de papillons endémiques. Ainsi, comme la mentionné (Chakira et al., 2015), au lieu de préserver les habitats forestiers primaires des activités humaines, la planification de la conservation devrait se concentrer sur la mesure de réconciliation entre l'homme et l'écosystème, de sorte que cette endémicité importante des habitats non forestiers ne soit pas ignoré.

La conservation ne vise pas seulement à conserver les espèces rares et menacés en voie d'extinction. L'une des questions clés pour la planification de la conservation est de savoir quelles sont les zones prioritaires pour la conservation (X. Scheldeman et al., 2012)? Selon toute vraisemblance, en raison de la variété des plantes et de la réduction de la canopée, les zones modifiées par l'homme ont tendance à attirer de nombreuses espèces de papillons y compris les endémiques(Chakira et al., 2015). Les papillons non endémiques sont considérés comme étant des espèces à faible valeur en matière de conservation car ils peuvent être trouvés ailleurs(Lewis et al., 1998), mais ils peuvent jouer un rôle crucial dans la survie de toute la communauté(Zavaleta et al, 2001). Sur ce, un exemple de planification de la conservation dans ce domaine pourrait se focaliser sur l'amélioration de la connectivité entre fragments de la population par réhabilitation des plantes natives, afin d'assurer un flux de gènes adaptatifs et d'accroître l'effort pour conserver les populations dans les zones à faible impact (zones forestières).

La bonne gestion écologique des forêts et une meilleure prise en compte des espèces de papillons endémiques dans les projets d'aménagements s'avèrent indispensables au maintien durable de ces noyaux de populations.

Conclusion

Cette étude portant sur l'impact anthropogéniques des papillons endémiques des Comores a permis non seulement d'avoir des connaissances sur l'état des lieux des lépidoptères de l'ile d'Anjouan, mais surtout de découvrir la richesse importante de la biodiversité de cette ile.

L'étude a pu identifier 938 individus repartis en 7 familles et 21 genres. Les milieux naturels et forestiers renferment des espèces de papillons indigènes et exotiques dont la majorité sont également observés dans les autres habitats (agroforesterie et plantation). Ces derniers abritent un grand nombre d'espèces de papillons endémiques mais avec une faible abondance (annexe 5). La richesse spécifique est plus élevée dans les agroforesteries (31 espèces) à mi- altitude par rapport aux autres habitats. Trois (3) espèces dominent dans les zones forestières et plantations de hautes altitudes ; il s'agit d'Amauris Ochlea moya, Henotesia comorensis comorensis et Mylothris humbloti. Salamis humbloti, Pseudacraea glaucina anjouana, Pseudacraea lucretia comorana et Appias sabina comorensis sont des espèces endémiques très rares.

Pour tous les espèces de papillons, aucune espèce n'est ressortie indicatrice d'un habitat particulier du fait qu'aucune espèce n'est ni spécifique, ni fidèle à un habitat donné. Toutefois, certaines espèces sont spécifiques pour un groupe d'habitat ou à une combinaison des groupes d'habitat. C'est le cas pour *Acraea eponina et Catopsilia florella* qui sont spécifiques aux zones de plantation. *Acraea dammii* est un bon indicateur de la combinaison des habitats agroforestière et plantation. Par contre, *Acraea ranavalona* pour la forêt dégradé et l'agroforesterie et *Eurema floricola anjouana* pour les plantations, agroforesterie et forêt dégradé. Pour l'altitude, *Acraea ranavalona* et *Eurema floricola* sont spécifiques aux altitudes basses mais pas fidèle dans ces strates altitudinales.

L'altitude, les saisons et les types d'habitat sont des variables environnementales significatifs qui influent sur les conditions de vie des papillons endémiques. Ces variables peuvent conditionner une augmentation ou une diminution du taux d'endémicité des papillons dans leur aire géographique. Au fait, les altitudes supérieures, la saison sèche et la forêt naturelle semble être des variables qui diminuent la probabilité de rencontre d'une espèce endémique. La modélisation de la répartition spatiale des espèces présente les zones importantes pour la conservation des papillons endémiques et les mouvements de chaque espèce occasionnée par les conditions du milieu. Les forêts, les rivières et les infrastructures sont des facteurs prépondérants sur la répartition spatiale des espèces de papillons endémiques. La proximité des forêts influence la répartition géographique de *Amauris ochlea moya, Neptis comorarum comorarum* et *Mylothris humbloti*. Pour *Papilio epiphorbas guyonnaudi*, c'est l'éloignement des routes et des aires urbaines qui conditionnent d'avantage leur répartition spatiale. Pour *Henotesia subrufa*, c'est la proximité des rivières qui contribuent davantage sur sa répartition spatiale.

5 Annexes

Annexe 1. Les espèces recensés dans chaque habitat. AG : agroforesterie ; PL : plantation ; FD : forêt dégradé ; FN : forêt naturel. (* : signifie présence).

Espèces	AG	PL	FD	FN
Acraea dammii	x	×	×	×
Acraea eponina	x	×	x	×
Acraea igati	x	×	x	×
Acraea lia	x	×	×	×
Acraea masaris jodina		×		
Acraea masaris masaris	x	×	×	×
Acraea neobule	×	×	×	×
Acraea ranavalona	×	×	×	×
Amauris ochlea moya	x	×	×	x
Appias sabina comorensis				×
Belenois creona elisa	×			
Bicyclus anynana	x			x
Byblia anvatara anvatara	x			×
Catopsilia florella	x	×	×	×
Charaxes nicati	x	×	×	×
charaxes viossati				x
Cynthia cardui				×
Eurema brigitta pulchella		×		
Eurema floricola anjouana	×	×	×	×
Eurema regularis	×	×	×	×
Eurema senegalensis	×	×	x	x
Eurytela dryope lineata	x	×	×	
Henotesia comorensis comorensis	x	×	×	x
Henotesia subrufa	×		×	×
Hypolimnas anthedon drucei				×
Hypolimnas misippus	×	×		
Junonia oenone oenone	x	×	×	×
Junonia rhadama	x	×		
Melanitis leda helena	x	×		
Mylothris humbloti	×	×	×	x
Neptis comorarum comorarum	x	×		x
Papilio demodocus	x	×	×	x
Papilio epiphorbas guyonnaudi	x	×	×	x
Phalanta phalanta aethiopica	x	×	×	
Pseudacraea glaucina anjouana	x			x
Pseudacraea lucretia comorana	x		×	
Salamis humbloti	x		x	×

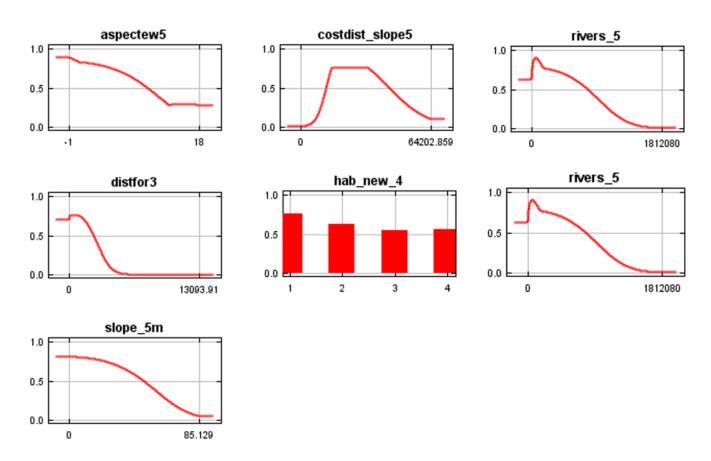
Annexe 2. SIMPER analysis – Butterfly species that contributes to the similarity between communities according to the ranges of altitudes (Bold italics denote endemic species) (Chakira et al., 2015).

Group: 500-700 m				
Mean similarity : 23,6	3			
species	Mean abondance	Mean similarity	Contribution %	Cumulated contribution %
Eurema brigitta	0,77	3,9	16,5	16,5
pulchella				
Eurema floricola	0,74	3,42	14,46	30,96
anjuana				
Eurytela dryope	0,94	2,4	10,16	41,11
Catopsilia florella	0,82	1,92	8,13	49,25
Danaus chrysippus	0,92	1,87	7,92	57,17
Mylothris ngazya	0,47	1,54	6,51	63,68
Phalanta phalantha	0,61	1,49	6,3	69,98
Byblia anvatara	0,57	1,19	5,06	75,03
Euchrysops osiris	0,51	1,15	4,86	79,89
Group: 700-900 m		1		
Mean similarity:				
27,03				
species	Mean abondance	Mean similarity	Contribution %	Cumulated contribution %
Mylothris ngazya	1,88	9,36	34,62	34,62
Eurema floricola	1,31	6,6	24,43	59,06
anjuana				
Eurema brigitta	0,81	2,98	11,01	70,06
pulchella				
Hypolimnas	0,48	0,94	3,47	73,53
misippus				
Eurytela dryope	0,31	0,87	3,22	76,75
Euchrysops osiris	0,41	0,82	3,04	79,79
Group: 900-1100 m			•	
Mean similarity:				
30,59				
species	Mean abondance	Mean similarity	Contribution %	Cumulated contribution %

Mylothris ngazya	2,24	15,97	52,2	52,2
Heteropsis comorensis	0,63	3,53	11,52	63,72
Papilio aristophontes	0,46	2,57	8,4	72,12
Eurema brigitta pulchella	0,48	1,5	4,91	77,03
Heteropsis comorana	0,35	1,12	3,65	80,69
Group : >1100 m				
Mean similarity : 50,89				
species	Mean abondance	Mean similarity	Contribution %	Cumulated contribution %
Heteropsis comorensis	2,22	20,52	40,33	40,33
Heteropsis comorana	1,92	20,12	39,54	79,86

 ${\rm NB}$: Le genre Heteropsis est changé en Henotesia.

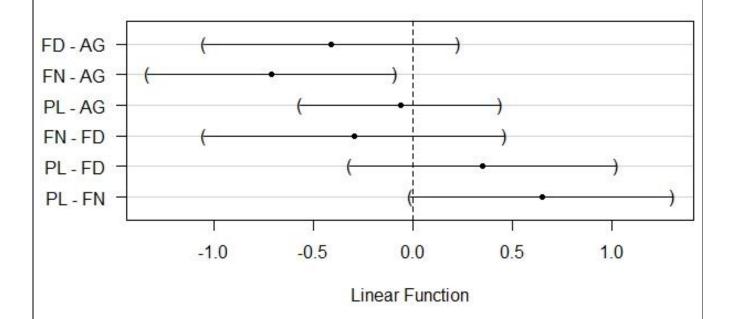
Annexe 3. Courbes de relation (réponse) entre la probabilité de présence prédite et les variables environnementales retenues pour la modélisation. Abréviations : aspectew5 : aspect ; costdist_slope5 : infrastructures ; dem_5 : altitude ; distfor3 : distance forêt ; hab_new_4 : habitat ; rivers_5 : distance rivière ; slope_5m : pente.



Annexe 4. Résultat de l'analyse du test de Tukey dans R pour l'habitat et de leurs représentations graphiques.

```
Multiple Comparisons of Means: Tukey Contrasts
Fit: qlm(formula = endetnonendemic ~ altitude + typedhabitat + saisons,
    family = binomial, data = papillon, na.action = "na.fail")
Linear Hypotheses:
             Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
FD - AG == 0 -0.41368
                         0.25010
                                  -1.654
                                           0.3435
FN - AG == 0 -0.71158
                         0.24369
                                  -2.920
                                           0.0184 *
PL - AG == 0 -0.06345
                         0.19724
                                  -0.322
                                           0.9883
FN - FD == 0 -0.29790
                         0.29567
                                  -1.008
                                           0.7412
PL - FD == 0
             0.35023
                         0.26181
                                   1.338
                                           0.5337
PL - FN == 0 0.64814
                         0.25771
                                   2.515
                                           0.0560 .
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Adjusted p values reported -- single-step method)
```

95% family-wise confidence level



Représentation graphique des résultats du test de Turkey

Annexe 5. Abondance moyenne des espèces en fonction des habitats. Les nombres entre parenthèses sont le nombre de transects par habitat. Les zéros (0) signifient que l'espèce n'a pas été observé dans cette habitat.

	Agroforesterie		Forêt	Plantation
Espèces	(24)	Forêt dégradé (16)	naturel (15)	(19)
Acraea dammii	0.29400362	0.12893182	0.06372492	0.51333965
Acraea eponina	0.11056344	0.08485101	0.08387571	0.72070983
Acraea igati	0.32591419	0.22232906	0.27471694	0.17703981
Acraea lia	0.43984741	0.13502293	0.06673547	0.35839419
Acraea masaris jodina	0	0	0	1
Acraea masaris masaris	0.26479016	0.19568472	0.26783372	0.27169141
Acraea neobule	0.46097054	0.13266303	0.21856362	0.18780281
Acraea ranavalona	0.46932456	0.43221518	0.04747191	0.05098835
Amauris ochlea moya	0.16463284	0.18298406	0.31008136	0.34230175
Appias sabina comorensis	0	0	1	0
Belenois creona elisa	1	0	0	0
Bicyclus anynana	0.39726027	0	0.60273973	0
Byblia anvatara anvatara	0.49714286	0	0.50285714	0
Catopsilia florella	0.11818979	0.06046919	0.17932243	0.64201859
Charaxes nicati	0.59214437	0.10098586	0.19965021	0.10721956
Charaxes viossati	0	0	1	0
Cynthia cardui	0	0	1	0
Eurema brigitta pulchella	0	0	0	1
Eurema floricola anjouana	0.21792251	0.18814821	0.07232773	0.52160156
Eurema regularis	0.29765371	0.22843192	0.15053751	0.32337687
Eurema senegalensis	0.26968425	0.13170626	0.27898371	0.31962578
Eurytela dryope lineata	0.41921765	0.4289669	0	0.15181545
Henotesia comorensis comorensis	0.20330253	0.2823271	0.19095082	0.32341955
Henotesia subrufa	0.24714276	0.25289027	0.49996697	0
Hypolimnas anthedon drucei	0	0	1	0
Hypolimnas misippus	0.55102041	0	0	0.44897959
Junonia oenone oenone	0.2881168	0.15793778	0.21857137	0.33537405
Junonia rhadama	0.648	0	0	0.352
Melanitis leda helena	0.55102041	0	0	0.44897959
Mylothris humbloti	0.17126507	0.19715398	0.42225698	0.20932397
Neptis comorarum comorarum	0.44717304	0	0.40708167	0.14574529
Papilio demodocus	0.31079287	0.09540618	0.18861912	0.40518182
Papilio epiphorbas guyonnaudi	0.49511302	0.10481944	0.23313289	0.16693466
Phalanta phalanta aethiopica	0.31834384	0.1628736	0	0.51878256
Pseudacraea glaucina anjouana	0.39726027	0	0.60273973	0
Pseudacraea lucretia comorana	0.76512456	0.23487545	0	0
Salamis humbloti	0.39587302	0.30380952	0.30031746	0

6 Bibliographie

- Adjanohoun et al, 1982. Etude ethnobotanique et floristique des Comores. République Fédérale Islamique des Comores. CCT. Paris Novembre 1982.
- Andilyat. M, 2007. Etude écologique de la forêt du Karthala. Mémoire de DEA Ecologie Végétale. Univ. Antananarivo. 140 pages.
- ANLLAOUDINE A. H., 2009. Caractérisation écologique des espèces végétales les plus utilisées et de leurs habitats sur la partie nord du massif de la grille ((grande Comore)) ((inventaire-ethnobotanique- écologie et cartographie)). Diplôme d'Etudes Approfondies. Université d'Antananarivo. Antananarivo. Pp 70.
- Astudillo, M.F., 2012. Déboisement et tarissement des rivières à Anjouan. Étude bibliographique. ECDD,BCSF,Durell, Comoro Islands.
- Attié, M., Baret, S., Strasberg, D., 2005. Les insectes phytophages associés à des plantes exotiques envahissantes à l'île de La Réunion (Mascareignes). Rev Ecol Terre Vie 60, 107–125.
- AZIZI, M., 2015. Phytoécologie de Aristida pérennes dans le Sahara Septentrional. Cas de : Ouaragla et Ghardaïa. Univ. KASDI MERBAH OUARGLA, UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA 83.
- Banque mondiale., 2011. Rapport 2011 sur l'engagement international dans les états fragiles. Union des Comores, 78 p.
- BASTUYAT, S.A., 2008. Promotion des reserves forestieres des Rousssetes de Livingstone et de leurs habitat de maniere durable. Action international-COMORES Belgique, Comoro Islands.
- Bellamy, C., Altringham, J., 2015. Predicting Species Distributions Using Record Centre Data: Multi-Scale Modelling of Habitat Suitability for Bat Roosts.
- BERNARDI, G., 1996. BIOGEOGRAPHIE ET SPECIATION DES LEPIDOPTERES PAPILIONIDAE, PIERIDAE, DANAIDAE ET ACRAEIDAE DE MADAGASCAR ET DES ILES VOISINES 16.
- CALDECOTT et al., 1996. Priorities for conserving global species richness and endemism. Biodiversity and conservation.
- Caminade P., 2004. Comores-Mayotte: une histoire néocoloniale.
- Chakira, H., Wagan, T., Hua, H., He, Y., Mabubu, J., Elyamine, A., Ouledi, A., 2015. The butterflies of Ngazidja and their main habitats significances.
- Charmoille, A., 2013. EBAUCHE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE DE L'ÎLE D'ANJOUAN (COMORES): Typologie des ressources en eau disponibles et discussion sur l'impact de la déforestation. ECDD, Comoro Islands.
- Colwell, R.., 2006. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.0.0. User's Guide and application published at: http://purl.oclc.org/estimates. 7.
- DE BELLO, F., Lepš, J., Lavorel, S., Moretti, M., 2007. Importance of species abundance for assessment of trait composition: an example based on pollinator communities. Community Ecol. 8, 163–170. https://doi.org/10.1556/ComEc.8.2007.2.3
- De Cáceres et al, 2012. Using species combinations in indicator value analyses. Methods Ecol. Evol. 3, 973–982.
- De Cáceres, M., 2013. How to use the indicspecies package (ver. 1.7. 1).
- De Cáceres, M., 2013. How to use the indicspecies package (ver. 1.7.1).
- De Cáceres, M., Legendre, P., Moretti, M., 2010. Improving indicator species analysis by combining groups of sites.
- Doulton, H., al, 2014. Rapport-final-Projet-ECDD-20141.pdf. ECDD, BCSF & Durrell, Comoro Islands.
- Ehrlich PR, Raven PH, 1964. Butterflies and plants: a study in coevolution. Evolution, 586-608.
- Encarta, 2008. Microsoft ® Encarta ® 2008. © 1993-2007 Microsoft Corporation.
- Goodman, S.M., Weyeneth, N., Ibrahim, Y., Saïd, I., Ruedi, M., 2010. A Review of the Bat Fauna of the Comoro Archipelago. Acta Chiropterologica 12, 117–141. https://doi.org/10.3161/150811010X504635
- Grall, J., Coïc, N., 2006. Synthèse des méthodes d'évaluation de la qualité du benthos en milieu côtier. Inst. Univ. Eur. Mer Univ. Bretagne Occident. Lab. Sci. L'Environnement Mar. 7–86.

- Green, K., 2014. Terrestrial Biodiversity Mapping of the Comoro Islands: Methods and results. ECDD,BCSF,Durell, Comoro Islands.
- Guy, B.B., Yao, T.B., Ibrahim, M., 2015. Changements de la couverture forestière dans l'île d'Anjouan entre 1995 et 2014.
- Huston, M.A., 1997. Hidden Treatments in Ecological Experiments: Re-Evaluating the Ecosystem Function of Biodiversity 449–460.
- Jonason D et al., 2011. Assessing the effect of the time since transition to organic farming on plants and butterflies. Journal of Applied Ecology 48,.
- Kato Y., 2012. Méthodologie pour le calcul de probabilité d'implantation de l'habitat dispersé par entropie maximale. Programme INTERRG Caraibe IV. <www.Coribsat. Teledetection.fr>.
- Kendle T., Forbes S., 1997. Urban nature conservation. E & FN Spon, London 264.
- Koh et al., 2004. Importance of reserves, fragments, and parks for butterfly conservation in a tropical urban landscape Ecological Applications 14, 1695-1708.
- Kwon et al., 2013. Changes of butterfly communities after forest fire. Journal of Asia-Pacific Entomology 16, 361-367.
- LANDEAU, R., 2008. Comparaison de la diversité spécifique intra et inter- habitat et observation de la distrubition des taxons le long de gradiants environnementaux significatifs, Aplication dans les environs de col du lautaret (Rapport de stage No. 5). Université de Savoie TECHNOLAC, Université de Savoie TECHNOLAC.
- Lewis, O.T., Wilson, R.J., Harper, M.C., 1998. Endemic butterflies on Grande Comore: habitat preferences and conservation priorities.
- Louette, M., Hachime, A., Ibrahim, Y., Meirte, D., 2008. Atlas des oiseaux nicheurs de la grande Comore, de Moheli et d'Anjouan.
- Marcon, E., 2015. Mesures de la Biodiversités.
- Marsh, C., 2008. Community-level modelling of α -, β -and γ -diversity of multiple taxa: birds and butterflies on Anjouan, Comoros Islands. University of London.
- Maxent software version, 2011. Details for Maxent software version: 3.3.3k.
- McDougall, W.., 1927. plant ecology. Lee & Febiger.
- M.Dufrene et P.Legendre, 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach.
- Moulaert, N., 1998. Etude et conservation de la forêt de Mohéli(RFI des Comores), massif menacé par la pression anthropique. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique.
- Mwezinet, 2012. LA NATURE AUX COMORES: Les rivières et cascades.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403, 853–858. https://doi.org/10.1038/35002501
- Ota et al., 2014. Beak marks on the wings of butterflies and predation pressure in the field. Entomological Science 17, 371- 375.
- PAULIN, H., 2011. Soutenir l'intensification agricole et développer des innovations agroforestières et agro-écologiques à Anjouan. Rapport de Mission/ Définition du partenariat entre AVSF-Madagascar et le projet ECDD-Comores. 71 p.
- RFIC, 1994. "National Environmental Policy". Shields, O. (1989). World numbers of butterflies. J. Lepid. Soc 43, 178-183.
- Roby, D., 2014. Projet pour le Développement d'un système d'aires protégées terrestres et marines représentatives du patrimoine naturel unique des Comores et cogérées avec les communautés.
- ROCHA S. et al., 2004. Diversity and phylogenetic relationships of Hemidactylus geckos from the Comoro islands. Elviser. Molecular phylogenetics and evolution.
- ROUX, G., ROUX, M., 1967. A propos de quelques méthodes de classification en phytosociologie. Revu Stat. Appliquée 15, 59–72.
- Soiffaouiddine, S., 2011. Croisance demographique et degradation de l'environnement naturel a Anjouan-Comores. Comoro Islands.
- TAGLIONI, F., 2008. L'île d'Anjouan figure de la Balkanisation de l'archipel des Comores.

Thomas J., 2005. Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 360, 339-357.

U-N, 1992. Convention on biological diversity.

Union-des-Comores, 2014. 5ème rapport national sur la diversite biologique.

Van Swaay et al., 2013. "The European Grassland Butterfly Indicator:1990–2011," European Environment Agency.

Waruinge, D., Bydekerke, L., Theuri, M., 2002. Atlas des ressources cotieres de l'Afrique orientale.

Whittaker, R.H., 1972. Evolution and Measurement of Species Diversity.

X. Scheldeman et al., 2012. Manuel de formation à l'analyse spatiale de la diversité et de la distribution des plantes.

Zavaleta et al, 2001. Viewing invasive species removal in a whole ecosystem context. Trends in Ecology & Evolution 16, 454-459.