

# Table des matières

---

Table des matières.....	i
Liste des cartes.....	iv
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux.....	iv
Liste des abréviations.....	v
Introduction.....	1
I État de l’art, problématique et hypothèses.....	3
I.1 Notions se rapportant à l’étude : Perturbation et résilience.....	3
I.2 État de l’art.....	4
I.3 Problématique.....	5
I.4 Hypothèses et question de recherche.....	7
II Site d’étude.....	8
II.1 Localisation.....	8
II.2 Climat.....	8
II.3 Végétation et sols.....	9
II.4 Milieu humain.....	10
II.4.1 Démographie.....	10
II.4.2 Activités économiques.....	10
II.4.2.1 Élevage des petits ruminants.....	10
II.4.2.2 Fabrication de charbon.....	11
III Matériels et méthode.....	12
III.1 Relevés floristiques.....	12
III.1.1 Méthodes de relevé.....	12
III.1.1.1 Type et forme des unités d’échantillonnage.....	12
III.1.1.2 Type d’échantillonnage.....	13
III.1.2 Inventaire floristique par échantillonnage probabiliste stratifié.....	13
III.1.2.1 Échantillonnage et stratification.....	13
III.1.2.2 Dispositif d’échantillonnage et taille des placeaux.....	14
III.1.2.3 Paramètres à relever.....	15
III.2 Production : estimation de la biomasse.....	16
III.2.1 Méthodes d'estimation de la biomasse.....	16
III.2.1.1 Les méthodes indirectes.....	16
III.2.1.2 Les méthodes directes.....	16
III.2.2 Pesage de la biomasse.....	17
III.2.2.1 Mesure de la biomasse fraîche par coupe systématique.....	17

III.2.2.2	Mesure de la matière sèche en laboratoire .....	17
III.3	Analyse des données .....	17
III.3.1	Analyse floristique .....	17
III.3.1.1	Indices de diversité.....	17
III.3.1.2	Structure spatiale .....	18
III.3.1.3	Analyse de la régénération naturelle .....	19
III.3.2	Analyse statistique.....	19
III.3.2.1	Vérification de la normalité.....	20
III.3.2.2	Vérification de l'égalité des variances .....	20
III.3.2.3	Comparaison des moyennes des indices de diversité et de structure .....	20
III.3.2.4	Comparaison des médianes des taux de régénération .....	22
III.3.2.5	Comparaison des proportions des espèces sans régénération et des espèces sans individus matures .....	22
III.3.2.6	Analyse factorielle de la composition floristique .....	22
IV	Résultats .....	25
IV.1	État de la végétation mature .....	25
IV.1.1	Composition floristique des arbustes et des lianes .....	25
IV.1.2	Diversité et structure .....	26
IV.1.3	Biomasse aérienne.....	27
IV.2	État de la régénération naturelle.....	28
IV.2.1	Composition floristique.....	28
IV.2.2	Diversité et structure .....	29
IV.2.3	Taux de régénération.....	30
IV.2.4	Étude de la régénération des principales espèces fourragères et charbonnières.....	31
V	Discussion .....	33
V.1	Discussion de la méthodologie.....	33
V.1.1	Échantillonnage.....	33
V.1.2	Méthode d'estimation de la biomasse fiable mais coûteuse.....	33
V.2	Discussion des résultats.....	33
V.2.1	Sol : principal facteur conditionnant la composition floristique arbustive.....	33
V.2.2	Indices de diversité et de structure des individus semenciers peu affectés par les pratiques humaines.....	34
V.2.3	Réduction de la biomasse ligneuse suite à la fabrication de charbon de bois .....	35
V.2.4	Diversité et structure des individus de régénération, peu affectées par les perturbations d'origine anthropique .....	35
V.2.5	Mauvaise régénération des fourrés xérophiiles .....	36
Conclusion.....		37
Bibliographie.....		38

Annexes.....	I
Annexe 1 : Données climatiques de la station de Toliara (moyenne des 30 dernières années, 1972-2002) .....	II
Annexe 2 : Fiche de relevé floristique pour les arbustes et les lianes .....	II
Annexe 3 : Fiche de relevé floristique pour les herbacées .....	III
Annexe 4 : Test d'indépendance entre les placeaux d'inventaire et les espèces relevées pour les individus semenciers (seuil $\alpha=0,05$ ) .....	IV
Annexe 5 : Test d'indépendance entre les placeaux d'inventaire et les espèces relevées pour la régénération naturelle (seuil $\alpha=0,05$ ).....	IV
Annexe 6 : Tests de normalité et d'égalité de la variance pratiqués sur les différents paramètres de la végétation semencière (seuil $\alpha=0,05$ ).....	V
Annexe 7 : Tests de normalité et d'égalité de la variance pratiqués sur les différents paramètres de la régénération naturelle (seuil $\alpha=0,05$ ) .....	VI

# Liste des cartes

---

Carte 1 : Localisation du site d'étude.....	8
---	---

# Liste des figures

---

Figure 1 : Courbe ombrothermique de la région de Soalara-Sud (1972 – 2002) .....	9
Figure 2 : Représentation simplifiée d'un plateau d'inventaire.....	15
Figure 3 : Projection des espèces (a) et des placeaux (b) dans le premier plan factoriel pour les individus matures .....	26
Figure 4 : Projection des espèces recensées (a) et des placeaux d'inventaire (b) dans le premier plan factoriel pour la régénération naturelle .....	29

# Liste des tableaux

---

Tableau 1 : Plan d'échantillonnage .....	14
Tableau 2 : Liste des tests statistiques appliqués aux paramètres de diversité, de structure et à la biomasse aérienne des fourrés xérophiles .....	21
Tableau 3 : Cadre opératoire de la recherche .....	24
Tableau 4 : Indices de diversité et de structure associés aux individus semenciers.....	27
Tableau 5 : Quantité de biomasse aérienne entre les strates de fourrés .....	28
Tableau 6 : Paramètres de diversité et de structure de la régénération naturelle .....	30
Tableau 7 : Taux de régénération des espèces d'individus matures.....	30
Tableau 8 : Proportion des espèces de régénération sans individus semenciers relevées dans les placeaux.....	31
Tableau 9 : Taux de régénération des espèces les plus appréciées.....	32
Tableau 10 : Taux de régénération des espèces les plus utilisées dans la fabrication de charbon de bois .....	32

# Liste des abréviations

---

AFC	Analyse factorielle des correspondances
ANOVA	<i>Analysis of variance</i> (analyse de la variance)
CB	Charbon de bois
CR	Commune rurale
ddl	Degré de liberté
FKT	<i>Fokontany</i>
Ind	Indéterminée
Obs. pers.	Observation personnelle
Op. cit.	<i>Opus citatum</i> (cité précédemment)
P	Précipitation (en mm.an <sup>-1</sup> )
PR	Petits ruminants
T	Température (en ° C)
TR	Taux de régénération

## ***INTRODUCTION***

---

Dans les régions semi-arides (zones recevant moins de 600 mm de pluies en moins de 3 mois ; Carrière, 1996), la population locale est généralement dépendante des ressources naturelles et notamment des ressources forestières (Pote et *al.*, 2006). Dans ces régions, la végétation fournit à l'homme une variété de biens et de services (*Op. cit.*), notamment du fourrage pour les petits ruminants (Rabeniala et *al.*, 2009), du bois de feu et de la matière première pour la fabrication de charbon de bois (Abule, Snyman et Smit, 2007).

Dans ces régions, les petits ruminants dont les caprins dominant le secteur de l'élevage (Landau et *al.*, 2000). Ils constituent la principale source de viande rouge pour de nombreux paysans (*Op. cit.*). À ce titre, ils contribuent à l'amélioration du niveau de vie du ménage et occupent une place importante dans l'économie régionale (voire mondiale ; Mahieu et *al.*, 2008).

Quant au charbon de bois, il constitue l'une des principales sources d'énergie domestique dans les pays sous-développés et principalement en Afrique (Ramamonjisoa, 1993 ; Mahiri et Howorth, 2001 ; Oduori et *al.*, 2011). Il est le plus souvent consommé localement. Toutefois des pays comme la Somalie en exportent (Oduori et *al.*, 2011). La pratique du charbonnage peut entraîner la dégradation et l'épuisement des ressources végétales. Dans certaines zones semi-arides, la coupe de bois pour la production de charbon de bois ou de bois de chauffe vient en seconde place, derrière le surpâturage, en ce qui concerne les causes de la dégradation des terres (Wezel et Bender, 2004).

Les fourrés xérophiles présents au niveau de la Commune rurale de Soalara-Sud (Région Atsimo-Andrefana, Madagascar) font également face au pâturage des petits ruminants (PR) et à la fabrication de charbon de bois (CB) qui constituent les principaux moyens d'existence de la population locale. Le fonctionnement de ces écosystèmes forestiers est peu connu, en particulier leur interaction avec les pratiques humaines que sont le pâturage des PR et la fabrication de CB. Ce travail contribue à combler cette lacune en analysant les impacts de la fabrication de CB et du pâturage des PR sur le fonctionnement des écosystèmes de fourré xérophile (diversité, régénération naturelle et production).

Hormis l'introduction et la conclusion, ce travail comporte cinq parties : (1) l'état de l'art, problématique et hypothèses, (2) le site d'étude, (3) les matériels et méthode, (4) les résultats et (5) la discussion qui en découle. La problématique tourne autour de l'interaction entre la population locale et les fourrés xérophiles de la Commune rurale de Soalara-sud qui est le site d'étude. La méthode adoptée se base sur l'inventaire floristique et l'estimation de la biomasse par coupe systématique suivie d'un pesage direct pour étudier les impacts de la fabrication de CB et le pâturage des PR sur les fourrés xérophiles. Les résultats obtenus font état des individus matures (plante dont la hauteur totale est supérieure à 1,30 m) des fourrés xérophiles et de la régénération naturelle (plante dont la hauteur totale est inférieure à 1,30 m). Enfin, la discussion porte sur la résilience des fourrés xérophiles face à

ces deux principales activités (fabrication de CB et pâturage des PR) notamment à travers l'analyse de la régénération naturelle.



***ÉTAT DE L'ART,  
PROBLÉMATIQUE  
ET HYPOTHÈSES***

Mace (1988) stipulait qu'avant d'entamer une recherche il fallait avant toute chose connaître les éléments ou les dimensions qui se rapportent à son problème général et de préciser les relations existantes ou supposées entre ces éléments. Aussi avant de donner la problématique proprement dite cette partie va décrire le cadre théorique dans lequel s'insère l'étude.

## **I.1 Notions se rapportant à l'étude : Perturbation et résilience**

Dans cette étude la définition du terme perturbation rejoindra celle de Cordonnier (2004) qui l'entend comme tout événement discret dans le temps et dans l'espace provoquant une réduction de la biomasse ou une mortalité des entités fondamentales du système, par exemple les arbres du peuplement forestier ou bien les espèces représentatives de l'écosystème en question. De cette définition, il ressort que les perturbations peuvent être caractérisées par leur nature : d'origine naturelle ou anthropique, leur intensité : faible ou élevée et leur fréquence.

Les perturbations se présentent comme des éléments nécessaires à la dynamique des écosystèmes en général et des écosystèmes forestiers en particulier, notamment en termes de biodiversité (Buma et Wessman, 2012). En effet, d'après la théorie de la perturbation intermédiaire (*Intermediate Disturbance Hypothesis* ou IDH ; Connell, 1978), la richesse spécifique est reliée à la perturbation et son absence conduirait au développement de formations végétales mono ou pauci spécifiques (Sheil et Burslem, 2003).

Le concept de perturbation est également lié à la notion de résilience. Si l'intensité des perturbations affectant l'écosystème dépasse un certain seuil, l'ensemble des facteurs et des processus contrôlant son intégrité et son fonctionnement peut être altéré de façon significative (Holling, 1973). Dans le cas des perturbations d'origine anthropiques, au moins deux types de seuils peuvent être différenciés : les seuils inhérents aux facteurs biotiques, à l'exemple de la disponibilité en stock de graines viables, et ceux liés aux facteurs abiotiques dont la réduction de la disponibilité en eau, la dégradation des propriétés physico-chimique du sol... et au-delà desquels la régénération spontanée de l'écosystème sera très difficile voire impossible (Mora et *al.*, 2012).

La résilience peut être définie de deux manières : la résilience au sens de l'ingénierie et la résilience au sens de l'écologie (Cordonnier, 2004 ; Martin, 2005). La résilience en ingénierie se définit comme le temps que met un système soumis à une perturbation à reprendre son état antérieur une fois que cette dernière n'agit plus (Pimm, 1984). Tandis que la résilience écologique est la capacité d'un écosystème, d'un habitat, d'une population ou d'une espèce à retrouver un fonctionnement et un développement normal après avoir subi une perturbation importante (facteur écologique ; Holling, 1973). Cette seconde définition est celle qui est adoptée dans cette étude.

La disposition de connaissance et/ou de données sur la couverture végétale et sa composition sont nécessaires pour étudier la structure et le fonctionnement de l'écosystème considéré (Munson, Webb et Hubbard, 2011). Aussi, la résilience de l'écosystème des fourrés xérophiiles aux perturbations que sont le pâturage des PR et la fabrication de charbon de bois peut être évaluée par l'observation des variations des paramètres (diversité, structure, régénération et production primaire) de fonctionnement de l'écosystème le long de gradients d'intensité de ces perturbations. Une différence significative entre ses paramètres indiquerait une faible résilience et le contraire (absence de variation) démontrerait la résilience face aux perturbations considérées.

## I.2 État de l'art

De nombreuses études ont été réalisées sur l'impact du pâturage des petits ruminants sur les écosystèmes en zone aride et semi-aride et particulièrement les fourrés xérophiiles (Archer, 2004 ; Peco, Sánchez et Azcárate, 2006 ; Pueyo, Alados et Ferrer-Benimeli, 2006 ; Anderson et Hoffman, 2007 ; Mahieu et *al.*, 2008 ; Angassa et Oba, 2010 ; Louhaichi et *al.*, 2012). Il a été notamment démontré qu'un pâturage peu soutenu stimulait la dynamique végétale où un accroissement de la diversité était constaté (Peco et *al.*, 2006). En effet, la prédation des herbivores affecte surtout les espèces dominantes, équilibrant ainsi le phénomène de compétition en atténuant l'exclusion des espèces minoritaires (Smith et Rushton, 1994). Les animaux jouent également des rôles importants dans la dispersion des graines viables pour bon nombre de plantes (phénomène d'endozoochorie ; Malo et Suarez, 1995 ; Fischer, Poschlod et Beinlich, 1996). En outre, l'effet mécanique du broutage crée des trouées favorables aux individus de régénération (Heady et Child, 1994).

À contrario, lorsque le pâturage est trop soutenu, il peut induire des impacts allant de la baisse du taux de recouvrement de la végétation à des pertes considérables en biodiversité : disparition de certaines espèces voire de l'écosystème même (McIvor, 2001). La baisse du recouvrement végétal rend le sol vulnérable à l'érosion notamment l'érosion éolienne (Whitford et *al.*, 1995 ; Okin, Murray et Schlesinger, 2001) qui entraîne une baisse de la fertilité et une destruction de la structure du sol (Faraggitaki, 1985 ; Scholl et Kinucan, 1996). La perte en biodiversité s'opère principalement lorsque la consommation des PR dépasse la capacité régénérative des espèces arbustives (Faraggitaki, 1985 ; Manzano et Navar, 2000). La disparition de ces dernières va, à leur tour, avoir des conséquences néfastes sur la faune notamment les insectes (Molina et *al.*, 1999), les oiseaux (Thiele, Jeltsch et Blaum, 2008) et favorisera l'invasion biologique par des espèces exotiques (Moleele et Perkins, 1998 ; Abule et *al.*, 2007).

Concernant l'impact de la coupe arbustive pour la production de charbon de bois, une nette réduction de la densité arbustive a été constatée dans le cas d'une coupe excessive (Pandey, 2002 ; Wezel et Bender, 2004 ; Pote et *al.*, 2006 ; Raoliarivelo et *al.*, 2010 ; Oduori et *al.*, 2011). Cette réduction de la densité conduit également à la perte de couvert végétal favorisant l'érosion et affectant la faune locale suite à la perte d'habitat (Pandey, 2002.). Pour finir, la fabrication de charbon de bois présente une

toute autre forme de risque qui est omniprésente : le risque de départ de feu incontrôlé (Wezel et Bender, 2004).

Toutefois, hormis quelques exceptions (Benjaminsen, 1993 au Mali et Nagothu, 2001 en Inde qui mettaient en doute les idées reçues concernant la gravité des impacts négatifs provoqués par le prélèvement de bois d'énergie sur la végétation arbustive et le pâturage sur la végétation herbacée en zone aride), peu d'études ont été faites quant à l'impact de la combinaison de ces deux types d'activités. Même, l'effet de la fabrication de CB sur la végétation reste également peu étudié car la plupart des analyses sur ce produit abordent essentiellement l'aspect socioéconomique de la filière charbon de bois (CB). Enfin, comparées aux zones tropicales humides, les zones arides sont beaucoup moins étudiées (Pote et *al.*, 2006).

À Madagascar, rares sont les études sur les impacts du pâturage des PR et de la fabrication de CB sur les fourrés xérophiles (Rabeniala et *al.*, 2009 ; Raoliarivelo et *al.*, 2010). Il a été montré que les fourrés localisés aux alentours des villages sont surpâturés puisque la charge effective des animaux qui pâturent dans les fourrés dépasse sa capacité de charge maximale et que le pâturage des PR affecte surtout la régénération des espèces les plus appréciées (Rabeniala et *al.*, 2009). De plus, l'activité de fabrication de CB réduit la diversité et la densité des fourrés xérophiles et le prélèvement de bois correspondant dépasse largement la productivité de cette végétation (Raoliarivelo et *al.*, 2010). Cependant, ces études n'ont pas pris en compte le facteur sol. En effet, la végétation en zone aride et semi-aride est généralement affectée par la disponibilité en eau qui est fonction de la précipitation et des propriétés du sol, ainsi que de la topographie (Parker, 1991).

### I.3 Problématique

Les formations végétales des zones semi-arides de la partie australe de la Grande île disposent d'une importante biodiversité avec une richesse spécifique remarquable et un taux d'endémisme élevé (48% des genres et 95% des espèces de plantes y sont endémiques ; WWF, 2008). La faune de la région présente également une grande diversité (*Op. cit.*).

Cette faune et cette flore de la région sont adaptées à des conditions difficiles et inhospitalières (faible précipitation, température et évapotranspiration élevées ; Koechlin, Guillaumet et Morat, 1974). Les plantes présentent diverses formes d'adaptation à la sécheresse : la caducité du feuillage, la réduction<sup>1</sup> de la taille des feuilles voire même leur disparition<sup>2</sup> ou bien au contraire leur épaississement<sup>3</sup> ; et la pachycaulie (renflement du tronc qui sert de réservoir d'eau ; Guyot, 2002 ; Blanc-Pamard et *al.*, 2005). Toutefois, le prolongement et la fréquence de plus en plus élevée des perturbations naturelles comme le changement du régime de précipitation, ou bien le rallongement de la durée des sécheresses

---

<sup>1</sup> Microphyllie

<sup>2</sup> Aphyllie

<sup>3</sup> Crassulescence

(Mahamane et Mahamane, 2005) et/ des perturbations humaines : charbonnage, pâturage, prélèvement de bois d'œuvre... risquent de dégrader de façon irréversible cet écosystème de fourrés xérophiles.

Une grande partie des forêts sèches malgaches a été détruite par l'homme et peu de grands blocs subsistent (Blanc-Pamard *et al.*, 2005). Par exemple, dans la forêt sèche du Mikea (Région sud-ouest de Madagascar), plus de la moitié (55%) de la superficie forestière a disparu de 1971 à 2001, soit une perte d'environ 1,8% par an (Lasry *et al.*, 2004). De même, Masezamana *et al.* (2013), dans le district de Toliara II, ont trouvé un taux de déforestation annuelle de 1,8% de 1990 à 2000 et de 2,25% pour la période de 2000 à 2010. Le défrichement pour l'agriculture itinérante sur brûlis, la fabrication de charbon de bois et le pâturage des petits ruminants sont les principales menaces pour la biodiversité du sud-ouest malagasy (Mana, Rajaonarivelo et Milleville, 2001 ; Randriamanarivo, 2001 ; Casse *et al.*, 2004 ; Rabeniala *et al.*, 2009 ; Raoliarivelo *et al.*, 2010).

Dans le Sud-ouest malgache, la population autochtone forme essentiellement une société d'éleveurs. La possession d'animaux en nombre considérable fait le prestige du propriétaire et est considérée comme un signe de richesse (Fauroux *et al.*, 1987). L'augmentation de la taille du cheptel de petits ruminants dans cette partie de l'Île durant ces trois dernières décennies va de pair avec le déclin de l'élevage bovin dont le nombre a chuté d'environ à 9 000 000 têtes en 1988 à 6 000 000 en 2000 (Statistiques du ministère de l'élevage citées par Rakotoarimanana, 2008). Les PR, surtout l'espèce caprine, s'adaptent bien aux conditions difficiles du milieu. En outre, ils constituent un excellent moyen de thésaurisation : les animaux peuvent être mis en vente lorsque le ménage a un besoin pécuniaire urgent (maladie, cérémonie traditionnelle, décès ; Fauroux *et al.*, 1987 ; Randriamiharisoa, 2009 ; Raoliarivelo *et al.*, 2010). Néanmoins, en raison de la nature contemplative et du caractère extensif de l'élevage pratiqué, l'augmentation du nombre de têtes par éleveur se révèle être « une épée à double tranchant ». En effet, cet agrandissement du cheptel constitue une source de revenu supplémentaire et une accumulation de richesse pour l'éleveur, mais augmente également la pression sur les fourrés xérophiles, puisqu'ils sont la principale source de pâturage.

La fabrication de charbon de bois (CB) est aussi une activité qui se développe dans cette zone, notamment en raison de l'accroissement de la demande en source d'énergie domestique au niveau de la ville de Toliara ces dix dernières années (Mana *et al.*, 2001 ; Raoliarivelo *et al.*, 2010). Ce type d'activité constitue ainsi une source de revenu conséquente pour les villageois qui le pratiquent (Raoliarivelo *et al.*, 2010). Une partie des revenus apportés par la vente de CB peut même être utilisée dans l'achat de nouvelles têtes pour agrandir la taille du cheptel d'élevage (Randriamanarivo, 2001). Cependant, la fabrication de CB induit des impacts néfastes sur les fourrés, particulièrement, en amenuisant la richesse spécifique et la densité des arbres de la végétation (Mana *et al.*, 2001 ; Randriamanarivo, 2001 ; Raoliarivelo *et al.*, 2010). Cette destruction de la végétation peut, à son tour, avoir des effets négatifs sur le système de production des paysans basé sur l'élevage étant donné leur nature extensive (Rabeniala *et al.*, 2009 ; Raoliarivelo *et al.*, 2010).

Or la teneur et la portée de cette interaction entre fourrés xérophiles et les activités humaines (fabrication de charbon de bois et pâturage des petits ruminants) est encore mal comprises jusqu'à maintenant puisque peu de choses sont connues du fonctionnement des fourrés xérophiles malagasy y compris sa résilience face à ces deux principales perturbations. Cette étude contribue à apporter plus d'éclaircissements sur cette question à travers l'analyse des impacts du pâturage des PR et de la fabrication de CB sur les fourrés xérophile du Sud-ouest malagasy et discute de leur résilience à la lumière des résultats obtenus.

#### **I.4 Hypothèses et question de recherche**

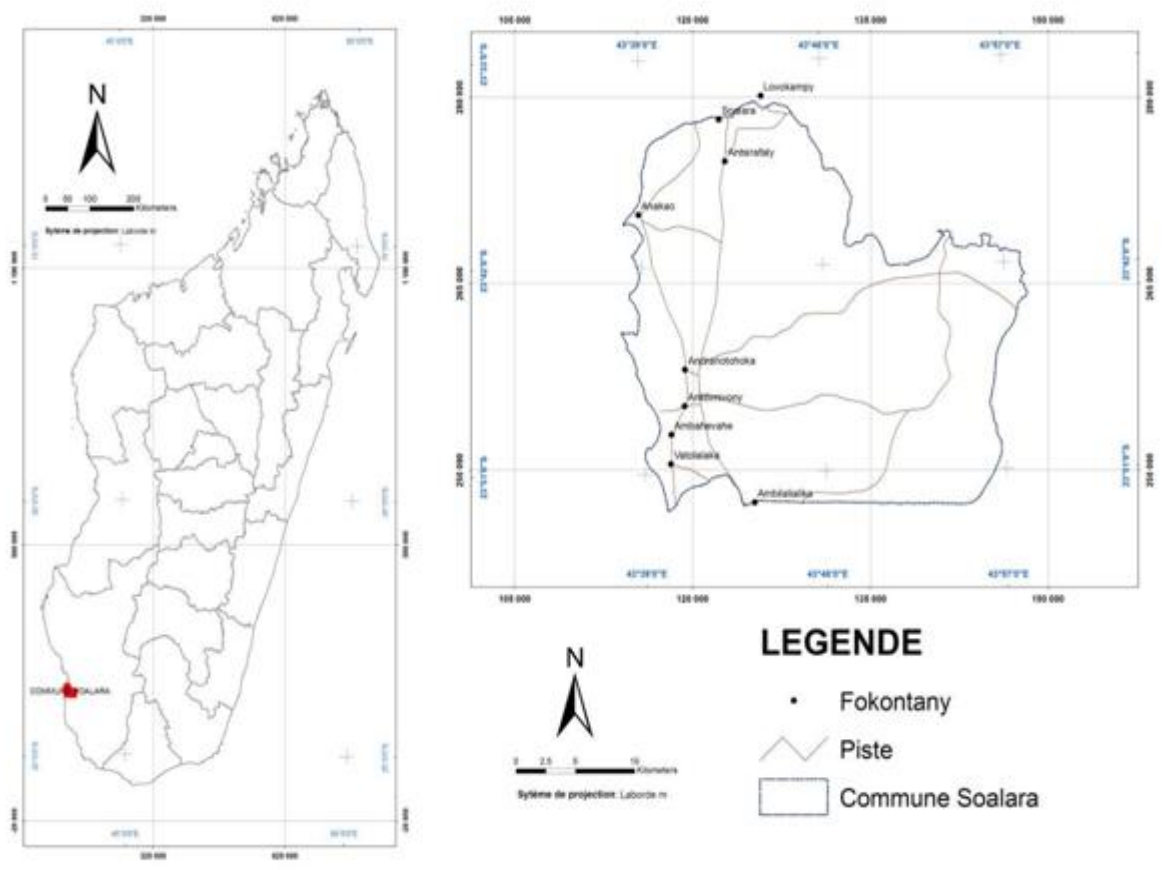
La question de recherche à laquelle cette étude se propose de répondre est la suivante. **Est-ce que la fabrication de charbon de bois (CB) et le pâturage des petits ruminants (PR) affectent significativement le fonctionnement des écosystèmes des fourrés xérophiles (en termes de diversité, de structure, de régénération et de production) ?** Les réponses à cette question permettront de tester les hypothèses de recherches avancées selon lesquelles les fourrés xérophiles présentent une faible résilience face (i) au pâturage des PR et (ii) à la fabrication de CB.

Rapport-Gratuit.com

*SITE D'ÉTUDE*

## II.1 Localisation

La commune rurale (CR) de Soalara-Sud est localisée dans le Sud-ouest malgache, environ à 25 km au Sud-est de la ville de Toliara. Ses coordonnées géographiques sont comprises entre 23° 36' 00'' et 23° 40' 00'' de latitude Sud et entre 43° 40' 00'' et 43° 46' 00'' de longitudes Est (Carte 1). Neuf fokontany (FKT) composent cette CR : Soalara Bas ; Soalara Haut ; Andranotohoke ; Ankilimivony-Temaromainte ; Ankilimivony-Temarovaly ; Antsirafaly ; Ankaranila ; Tanambao et Ambahivahy. Au niveau administratif, elle appartient au District de Toliara II dans la Région Atsimo-Andrefana. Deux autres communes l'entourent : la CR de Saint Augustin au nord et la CR de Beheloke au sud (Rabeniala *et al.*, 2009 ; Raoliarivelo *et al.*, 2010).



Carte 1 : Localisation du site d'étude

## II.2 Climat

La région de Soalara-Sud est soumise à un climat tropical semi-aride. La température moyenne est de 24,0°C (moyenne des 30 dernières années : 1972 à 2002, station de Toliara à 25 km au Nord-ouest du site d'étude). La pluviométrie moyenne annuelle est de 418 mm. Le diagramme ombrothermique de la région montre que la zone d'étude connaît deux saisons : une saison de pluie de décembre à février



(avec  $P > 2T$ ) ; et une saison sèche de mars à novembre caractérisée par une précipitation insignifiante et des températures moyennes au-dessus de 20 °C (Figure 1).

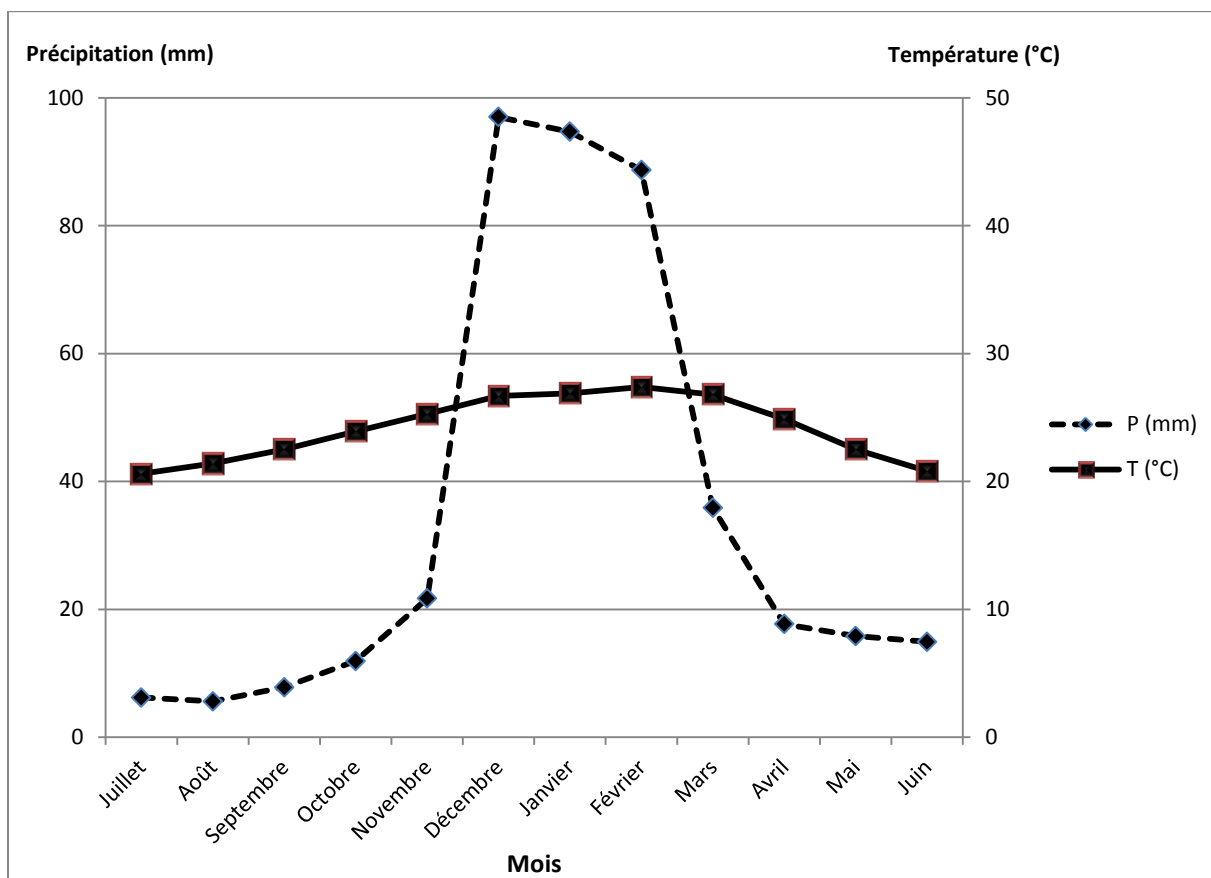


Figure 1 : Courbe ombrothermique de la région de Soalara-Sud (1972 – 2002)

### II.3 Végétation et sols

La zone d'étude appartient à la zone éco-floristique semi-aride de basse altitude (Cornet et Guillomet, 1976). Une grande partie du site est occupée par des fourrés xérophytiques à *Didiereaceae* et à *Euphorbiaceae* (*Op. cit.*). La famille endémique des *Didiereaceae* est représentée par 4 genres (*Didierea*, *Alluaudia*, *Alluaudiopsis* et *Decaryia*) et 11 espèces (WWF, 2008). En se référant à Razanaka (1996), deux types de fourrés peuvent y être distingués : des hauts fourrés xérophiles arbustifs sur la partie orientale et des bas fourrés xérophiles arbustifs sur la partie occidentale longeant la mer.

Pour les hauts fourrés dominés par *Didierea madagascariensis* Baillon (*Didiereaceae*), la hauteur de la strate supérieure varie de 4 à 6 m avec des émergents pouvant atteindre 10 m ou plus. La strate inférieure de nature discontinue est composée de *Commiphora humbertii* H. Perrier (*Burseraceae*), *Commiphora lamii* H. Perrier, et par *Croton* spp. (*Euphorbiaceae*). Ces formations se développent sur les séries dunaires sub-littorales constituées de sables roux à roux-rouge (Razanaka, 1996).

Quant aux bas fourrés, leur hauteur moyenne dépasse rarement les 4 m. Ils sont essentiellement caractérisés par *Euphorbia stenoclada* Baillon (*Euphorbiaceae*), *Euphorbia laro* Drake, *Grewia grevei*

Baillon (*Malvaceae*) et *Albizia* sp. Durazz. (*Fabaceae*). La strate inférieure fermée est surtout caractérisée par *Cordyla madagascariensis* R. Viguier (*Fabaceae*), *Cordyla humbertii* et *Cordyla simplicifolia*. Ces formations occupent des stations exceptionnellement sèches, situées sur des sols très filtrants (sable beige) ou des lithosols de dalles calcaires marneuses ou gréseuses (Razanaka, 1996).

## **II.4 Milieu humain**

### **II.4.1 Démographie**

En 2006, la CR de Soalara-Sud comptait 7 589 habitants dont plus de la moitié vivait dans les FKT de Soalara Haut et de Soalara Bas (environ 58% de la population locale). La population de la CR est relativement jeune. En effet, les moins de 21 ans représentent environ 70% de l'ensemble des habitants des neuf FKT. Les femmes sont majoritaires comparées aux hommes (56% de la population totale en moyenne). Par ailleurs, concernant la composition ethnique, Rabeniala et *al.* (2009) et Raoliarivelo et *al.* (2010) indiquent que la population locale est en majorité d'origine Tanalana (qui vivent pour la plupart à l'intérieur des terres) et Vezo (qui vivent sur les côtes).

### **II.4.2 Activités économiques**

L'élevage de petits ruminants et la fabrication de charbon de bois dominant le système de production de la population environnant les fourrés xérophiles de la région de Soalara-Sud (Raoliarivelo et *al.*, 2010). Les valeurs ajoutées rapportées par ces activités représentent à elles seules 98% environ du revenu total des ménages. L'agriculture occupe une place marginale à cause de l'aridité du climat (Rabeniala et *al.*, 2009 ; Raoliarivelo et *al.*, 2010).

#### **II.4.2.1 Élevage des petits ruminants**

L'élevage des PR occupe une place prépondérante dans le système de production de la population du site d'étude. Les animaux sont élevés de façon extensive. Les animaux paissent généralement pendant la journée et sont mis dans des enclos durant la nuit. À cet effet, des parcs sont aménagés entre les villages respectifs et les aires de pâturage. Des gardiens veillent au bon état du parc (les enclos et le portail) et assurent le comptage des animaux le soir. Les ventes de viande et de lait procurent un revenu substantiel aux éleveurs : elles constituent environ 67% du revenu des ménages enquêtés par Rabeniala et *al.* en 2009.

La majorité du cheptel des PR est formée de caprins (*Op. cit.*). Cette prédominance de l'espèce caprine s'explique par sa grande capacité d'adaptation au climat aride et aux ressources alimentaires disponibles notamment les plantes xérophytiques (*Op. cit.*).

#### **II.4.2.2 Fabrication de charbon**

Raoliarivelo et *al.* (2010) ont montré que la fabrication de charbon de bois (CB) est une source importante de revenus pour la population. La majorité des ménages enquêtés le pratiquent. Les espèces les plus utilisées pour la fabrication de CB sont (*Op. cit.*): *Acacia* spp., *handy* (*Neobeguea mahafaliensis* J.-F. Leroy ; *Meliaceae*), *forimbitike* (*Vitex* sp. Linnaeus ; *Lamiaceae*), *hazomena* (*Securinega perrieri* Léandri ; *Phyllanthaceae*), *katrafay* (*Cedrelopsis grevei* Baillon ; *Meliaceae*), *fatra* (*Terminalia ulexoides* H. Perrier ; *Combretaceae*), *hazobango* (*Dalbergia xerophila* Bossier et Rabevohitra ; *Fabaceae*), *Rohy* (*Mimosa delicatula* (Drake) Baillon ; *Fabaceae*) et *paky* (*Thilachium seyrigii* Hadj-Moustapha ; *Capparaceae*).

***MATÉRIELS ET  
MÉTHODE***

### III.1 Relevés floristiques

#### III.1.1 Méthodes de relevé

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour réaliser un inventaire floristique. Elles peuvent être classées selon le type de placeau d'inventaire et/ou selon le mode d'échantillonnage c'est-à-dire le mode de dispersion des points à inventorier. Quoiqu'il en soit, la méthode d'inventaire adoptée doit dépendre des objectifs, des moyens disponibles (moyens temporels, financiers et humains) et de la précision recherchée (Picard, 2006 ; Pearson, Brown et Birdsey, 2007).

##### III.1.1.1 Type et forme des unités d'échantillonnage

Pour les unités d'échantillonnages, des placeaux permanents ou temporaires peuvent être utilisés (Pearson *et al.*, 2007). Les placeaux peuvent également être de taille variable ou fixe (Corona *et al.*, 2011). La taille des placeaux à surface non-définie peut varier suivant la distance du point d'inventaire au plus proche arbre ou bien selon la taille des arbres ou arbustes inventoriés (cas de l'inventaire avec le relascope de Bitterlich<sup>4</sup> ; Gove, 2003). Pour les unités d'échantillonnages à surface définie, les formes les plus habituelles sont le cercle, le carré, le rectangle et la bande ou transect. Les placeaux de forme circulaire possèdent une plus grande objectivité vis-à-vis des mesures à effectuer et des résultats escomptés puisqu'ils ne comportent pas de direction privilégiée (Picard, 2006). Toutefois, ils sont difficiles à mettre en place notamment lorsque leur diamètre est assez étendu. Les placeaux rectangulaires et les transects (qui sont une forme allongée du rectangle et qui peuvent être disposés de façon continue ou interrompue) sont utilisés de préférence lorsque les caractéristiques de la formation à étudier varient suivant une certaine direction (exemple : suivant l'orientation géographique ou bien suivant la topographie). Pour ce faire, leur longueur doit être orientée suivant cette direction afin de représenter la plus grande diversité du facteur (Rakotondrasoana, 2009). Enfin, les placeaux carrés fournissent le maximum de précision. Par ailleurs, ils se présentent comme les plus adaptés pour les inventaires menés dans les formations naturelles qui sont difficiles d'accès notamment en raison de la densité des individus (Rajoelison, 1997 ; Rakotondrasoana, 2009). Ainsi, des placeaux carrés temporaires ont été adoptés pour cette étude.

---

<sup>4</sup> Cet appareil se présente sous la forme d'un boîtier métallique d'environ 14\*14\*7 cm<sup>3</sup>. Il comporte sur ses faces latérales les plus larges, deux fenêtres circulaires en verre dépoli destiné à éclairer l'intérieur. Un œilleton de visée apparaît également à sa partie supérieure. À l'intérieur de l'appareil, on remarque un tambour métallique libérable au moyen d'un bouton presseur situé sur l'une des petites faces extérieures. Ce tambour oscille autour d'un axe horizontal et comporte une série de bandes blanches graduées à largeur variable. Le relascope de Bitterlich est un appareil très polyvalent qui permet d'effectuer les mesures de la surface terrière d'un peuplement donné, de la hauteur des arbres, du diamètre d'un arbre à hauteur quelconque...

### **III.1.1.2 Type d'échantillonnage**

Pour le mode de disposition des points d'inventaire, on peut procéder de deux manières, soit de façon aléatoire (échantillonnage probabiliste) ou bien de façon non aléatoire (échantillonnage non probabiliste ou échantillonnage raisonné). Dans le cas de l'échantillonnage probabiliste, chaque unité ou chaque individu statistique a une chance d'être sélectionné (la randomisation est une caractéristique du processus de sélection, plutôt qu'une hypothèse au sujet de la structure de la population pour ce type d'échantillonnage). Dans celui de l'échantillonnage non probabiliste, la distribution des caractéristiques à l'intérieur de la population est supposée être homogène. C'est ce qui fait que le manipulateur (celui qui construit l'échantillon) estime que n'importe quel échantillon est représentatif de la population étudiée et que les résultats, par conséquent, seront exacts (Picard, 2006).

L'échantillonnage aléatoire peut se faire de façon totalement aléatoire où chaque individu d'une population a une chance égale d'être inclus à l'intérieur de l'échantillon (échantillonnage aléatoire simple). L'échantillonnage aléatoire peut également s'effectuer de façon régulière sur une grille ou sur des transects (échantillonnage systématique) avec comme objectif de couvrir l'ensemble de la population de manière aussi uniforme que possible. La population d'étude peut aussi être subdivisée en sous-ensembles appelés « strates » (Godron et *al.*, 1983 ; Rajoelison, 2008) au sein desquels on réalise des sondages (échantillonnage stratifié). Enfin les points d'échantillonnage peuvent être répartis selon des unités emboîtées les unes dans les autres à l'exemple des grappes de points d'inventaire réparties selon une grille régulière (échantillonnage hiérarchique ou en grappe ; Picard, 2006).

Pour cette étude, l'échantillonnage adopté est l'échantillonnage probabiliste stratifié. L'avantage de ce type d'échantillonnage est que, comme pour l'échantillonnage aléatoire simple, chaque unité d'échantillonnage a la même probabilité d'être sélectionnée avec une certaine assurance que chacune d'elles sera représentative de la population mère (Corona et *al.*, 2011).

## **III.1.2 Inventaire floristique par échantillonnage probabiliste stratifié**

### **III.1.2.1 Échantillonnage et stratification**

Les formations végétales présentes au niveau de la zone d'étude ont été classifiées en types de fourrés homogènes (ou strates ; Godron et *al.*, 1983 ; Rajoelison, 2008) qui sont mutuellement exclusifs selon des critères bien définis que sont le type de sol sur lequel elles se développent et l'intensité de la perturbation qu'elles subissent. En effet, dans cette région où l'eau est un facteur limitant, le rôle du sol est prépondérant sur la végétation (Berg et Dunkerley, 2004). La répartition des divers groupements végétaux peut être attribuée aux conditions édaphiques (*Op. cit.*). Ainsi, la division des fourrés xérophiles de la zone d'étude en deux strates, selon le type de sol, a d'abord été adoptée : fourrés sur sable roux et fourrés sur dalle calcaire. Ensuite, une seconde stratification relative à l'intensité de la perturbation a été prise en compte : les fourrés xérophiles proches des villages (distance < 4 km à vol d'oiseau) où se pratiquent la fabrication de CB et le pâturage des PR et ceux loin

des villages (distance > 4 km à vol d'oiseau) qui ne sont ni pâturés ni sujets à la fabrication de CB mais font l'objet de prélèvement de bois d'œuvre (pour la construction de pirogue et/ou servant d'ossatures pour les cases). La fabrication de CB se pratique essentiellement sur les sables roux (Obs. pers.). Aussi, les fourrés sur dalle calcaire ne sont-ils concernés que par le pâturage des PR.

Dans un souci de représentativité, des placeaux ont été placés au hasard et de manière indépendante dans les zones proches et éloignées des villages pour les deux types de formations.

**Tableau 1 : Plan d'échantillonnage**

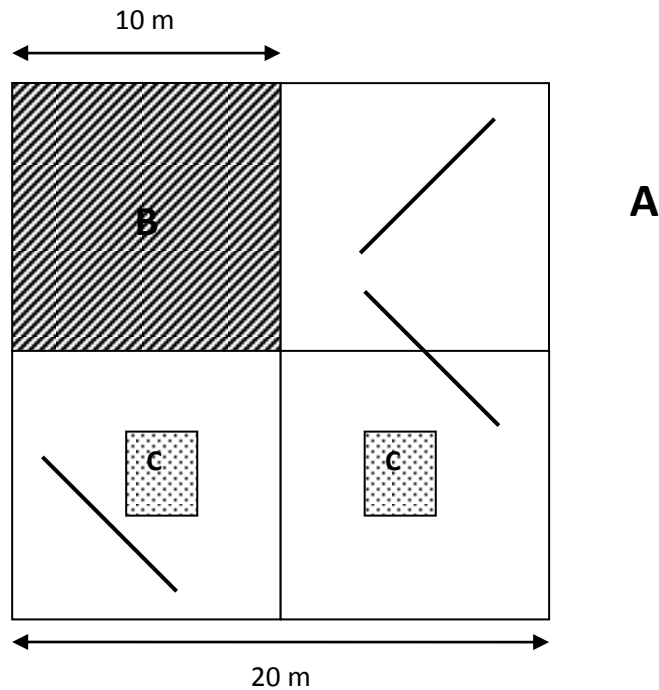
Type de sols	Intensité de perturbations anthropiques	
	<i>Forte (proche des villages)</i>	<i>Faible (loin des villages)</i>
<i>Sable roux</i>	5	5
<i>Dalle calcaire</i>	5	5

Deux types de facteurs ont été étudiés : le type de sol sur lequel la végétation se développe et le type de perturbations qu'elle subit. Le type de sol présente deux modalités. Il en est de même des perturbations humaines. Soulignons que 5 est le nombre minimum de répétitions par modalité requis par les logiciels de statistique XLSTAT et SPSS.

### ***III.1.2.2 Dispositif d'échantillonnage et taille des placeaux***

Les placeaux utilisés sont des carrés de 20 m\*20 m (Figure 2). Ils ont été compartimentés de la façon suivante :

- Un compartiment A de 20 m\*20 m pour l'inventaire des arbres et arbustes de plus de 1,30 m de hauteur, ainsi que des lianes adultes pouvant être qualifié d'individus semenciers ;
- Un compartiment B de 10 m\*10 m pour l'étude des individus ayant une hauteur inférieure à 1,30 m qui sont les individus de régénération ;
- Un compartiment C de 4 m\*4 m pour l'estimation de la biomasse totale. Deux répétitions aléatoires par placeaux ont été effectuées.
- Un transect de 10 m pour l'estimation du recouvrement herbacé avec trois répétitions.



**Figure 2 : Représentation simplifiée d'un plateau d'inventaire**

Sur ce schéma, les segments de droite représentent les transects utilisés pour estimer le recouvrement herbacé, ils sont disposés de façon aléatoire et ne doivent pas être sécants.

### **III.1.2.3 Paramètres à relever**

Les premiers éléments qui ont été notés lors du relevé des données sont les coordonnées géographiques (GPS) de chaque plateau. Par la suite, les paramètres suivant ont été notés :

- Les noms vernaculaires de chaque plante ;
- La hauteur totale ;
- L'origine (issu de la germination de graines, rejet de souche, drageonnage...) ;
- Le type biologique suivant la classification : arbres (plus de 10 m de hauteur), arbustes (moins de 10 m de hauteur), lianes et enfin herbacées ;
- La présence (ou l'absence) d'espèce herbacée est observée tous les 10 cm le long du transect de 10 m, ce qui correspond à un échantillonnage de N=100 points par transect soit 300 points par plateau.

Chaque espèce inventoriée a été mise en herbier pour être déterminée à l'Herbarium du Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza (Antananarivo, Madagascar).



## **III.2 Production : estimation de la biomasse**

### **III.2.1 Méthodes d'estimation de la biomasse**

Les méthodes d'estimation de la biomasse aérienne peuvent être catégorisées en deux grands groupes : les méthodes dites « indirectes » et celles qualifiées de « directes » (Lescuyer et Locatelli, 1999).

#### ***III.2.1.1 Les méthodes indirectes***

Certains auteurs décrivent les méthodes indirectes comme des méthodes non ou peu destructives puisqu'elles essaient au maximum de limiter autant que possible les prélèvements directs faits sur la ressource naturelle à quantifier. Le plus souvent, elles ont recours à des tables standards déjà existantes et utilisent des données d'inventaires : calcul du volume par l'établissement de tarif de cubage, conversion du volume en biomasse via des coefficients d'expansion ou l'établissement d'équations allométriques ; Brown, 1997 et 2002 ; Segura et Kanninen, 2005) ; ou bien passent par la télédétection...

Hormis la télédétection, le principe de base de ces méthodes indirectes est d'établir des relations mathématiques simples entre les masses des différents compartiments (tronc, branche, feuille) difficilement quantifiables et les dimensions de l'arbre (volume, hauteur, diamètre, etc.) qui sont plus faciles à mesurer (Brown, 1997 ; Segura et Kanninen, 2005). La télédétection, quant à elle, essaie de mettre en rapport la biomasse d'une formation végétale et la réflectance qui est la propriété qu'à un objet de réfléchir les ondes électromagnétiques qu'il reçoit. Cette réflectance diffère d'un objet à un autre (Goudet, 2008 ; Castellano, Volk et Herrington, 2009). À cet effet, cette méthode utilise des images aériennes ou satellitaires (Razakamanarivo, 2005 ; Goudet, 2008 ; Rakotondrasoa, 2009). La limite de ces méthodes réside notamment dans la fiabilité des modèles d'équations développés pour estimer la biomasse. Par ailleurs, bien qu'étant qualifiées de méthodes non destructives, elles nécessitent néanmoins des coupes mais qui sont sélectives.

#### ***III.2.1.2 Les méthodes directes***

Les méthodes directes consistent en une coupe systématique de toute la végétation présente au sein d'une surface déterminée puis à sa pesée (Brown et Lugo, 1982). Pour ce faire, la coupe et le pesage peuvent se faire séparément suivant le type de la végétation (végétations arbustives vs. végétations herbacées) et/ou suivant leurs diverses parties (feuille, branche, racine ; Razakamanarivo, 2005 ; Razafimahatratra, 2006 ; Rakotondrasoa, 2009). C'est notamment la méthode qui a été proposée par Rakotozafy (1996, cité par Razakamanarivo, 2005 et Rakotondrasoa, 2009) et qui se basait sur l'abattage de la végétation arbustive dans un cadrat de 4 m\*4 m et le fauchage de la végétation herbacée dans un carré de 1 m\*1 m.

La limite de cette méthode repose notamment sur son caractère destructeur qui ne cadre pas avec la tendance actuelle orientée vers la conservation et la restauration des espaces forestiers dégradés.

Toutefois, le degré de fiabilité de cette méthode est supérieur à celle dite « indirectes » puisque le poids de la biomasse se lit directement sur le cadran de la balance et n'est pas obtenu à partir d'un calcul intermédiaire (Rakotoarimana *et al.*, 2008). D'où son adoption pour cette étude.

### **III.2.2 Pesage de la biomasse**

#### ***III.2.2.1 Mesure de la biomasse fraîche par coupe systématique***

Une coupe de la végétation au ras du sol a été effectuée au sein d'un quadrat de 4 m\*4 m. Deux répétitions par plateau d'inventaire ont été faites (compartiment C, Figure 2). Avant le pesage, les troncs de plus de 5 cm de diamètre ont été séparés des brindilles de moins de 5 cm de diamètre et des feuilles correspondantes. Enfin, des échantillons des 2 catégories de matières ont été pesés et mis dans des sacs séparés pour être séchés à l'étuve.

#### ***III.2.2.2 Mesure de la matière sèche en laboratoire***

Cette étape du travail a été réalisée dans le laboratoire de l'École Supérieure des Sciences Agronomiques (Antananarivo). Après un étuvage de 24 h à 85° C, la masse sèche des échantillons a été mesurée à l'aide d'une balance de précision. Les échantillons ont été repesés quotidiennement jusqu'à l'obtention d'une masse constante. La masse a été considérée comme constante lorsque la perte de masse entre deux pesées successives est inférieure ou égale à 0,5% de la masse de l'échantillon.

### **III.3 Analyse des données**

#### **III.3.1 Analyse floristique**

Elle consiste à décrire le peuplement pour en connaître la composition floristique et la structure spatiale, en interprétant les données issues des observations directes et des inventaires proprement dits. Elle peut s'effectuer sous plusieurs angles. Les informations ont été regroupées et saisies avant de procéder à leur analyse. Les données numériques ont été prétraitées sous le logiciel Microsoft Excel 2010.

##### ***III.3.1.1 Indices de diversité***

Un certain nombre d'indicateurs peuvent être utilisés pour décrire la diversité d'un peuplement donné. Toutefois deux seulement ont été retenus pour cette étude.

##### **a) La richesse spécifique (S)**

La richesse spécifique est donnée par le nombre total d'espèces présentes au sein d'une surface de relevé (Fournier et Sasson, 1983 ; Marcon, 2011). Pour notre étude, il s'agit de l'aire du plateau (ou unité d'échantillonnage). Plus la valeur de S est élevée, plus la diversité de l'aire considérée est grande (Godron *et al.*, 1983 ; Rakotoarimanana *et al.*, 2008).

### b) L'indice de régularité (R)

L'indice de régularité s'obtient par le rapport entre l'indice de Shannon-Weaver et le logarithme à base 2 de la richesse spécifique, autrement dit, il s'agit du rapport entre la diversité réelle et la diversité théorique maximale (Dajoz, 1996 ; Frontier et Pichod Viale, 1998).

$$R = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{-\sum \frac{n_i}{N} \times \log_2\left(\frac{n_i}{N}\right)}{\log_2(S)}$$

Avec  $H'$  : indice de Shannon-Weaver qui exprime la diversité réelle et  $H_{Max}$  : logarithme à base 2 de la richesse spécifique qui exprime la diversité maximale ;  $N_i$  : abondance de l'i-ème espèce ;  $N = \sum n_i, i=1 \text{ à } S$  : abondance numérique totale d'espèces ;  $S$  : richesse spécifique.

Il indique la répartition des individus, pour un nombre donné d'espèces, entre celles-ci (Frontier et Pichod Viale, 1998). R tend vers 0 quand une espèce domine largement le peuplement considéré et sa valeur est égale à 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance (Dajoz, 1996 ; Frontier et Pichod Viale, 1998 ; Marcon, 2011).

#### III.3.1.2 Structure spatiale

La structure spatiale comprend l'analyse horizontale et l'analyse verticale. Pour la structure verticale, seule l'étude de la hauteur totale a été retenue pour ce travail. L'analyse de la structure horizontale a permis de déterminer la potentialité de la strate considérée, à travers l'étude de l'abondance qui indique le nombre de tiges par unité de surface (généralement par ha ; Rajoelison, 1997 et 2008). Par ailleurs, la densité de lianes a été également calculée. En effet, une végétation primaire, de par son large spectre biologique, doit contenir plus de lianes que celle qui est secondarisée (Karlowski, 2006). Enfin, le recouvrement global des herbacées a été évalué par la méthode de relevé linéaire (Canfield, 1941 ; Daget et Poissonet, 1971 ; Barabesi et Fattorini, 1998). La présence (ou l'absence) d'espèce herbacée a été observée tous les 10 cm le long d'un transect de 10 m (Daget et Poissonet, 1971 ; Rakotoarimanana, 2008 ; Rakotoarimanana et al., 2008). Le taux de recouvrement est donné par la formule :

$$Rg = \frac{100 \times (N - n)}{N}$$

Avec  $n$  : le nombre de points où aucune espèce herbacée n'ait été relevée.

### III.3.1.3 Analyse de la régénération naturelle

Le taux de régénération (TR) se définit comme le pourcentage de plantules par rapport au nombre d'individus semenciers. Ce taux permet de juger la capacité de régénération d'une espèce : si  $TR < 100\%$  il y a difficulté de régénération, si  $100 < TR < 1000$ , il y a possibilité de renouvellement et si  $TR > 1000$ , le potentiel de régénération est très élevé (Rothe, 1964).

$$TR = \frac{n}{N} \times 100$$

Avec **n** : le nombre de plantules de l'espèce donnée délimitée dans un espace de relevés ; **N** : nombre d'individus matures (hauteur > 1,30 m) de la même espèce et compris dans le même espace.

Dans cette étude, le taux de régénération moyen d'un plateau de relevé est établi à partir de la moyenne des taux de régénération de l'ensemble des espèces représentées par des individus matures qui y ont été inventoriées. Les TR des espèces utilisées comme fourrage et dans la fabrication de charbon ont également été calculés. Soulignons que la liste des espèces les plus utilisées se réfère à celles établies par Rabeniala et *al.* en 2009 et Raoliarivelo et *al.* en 2010. Enfin, les proportions des espèces dont le taux de régénération est nul et celles qui ne sont associées qu'à des individus de régénération ont été établies.

### III.3.2 Analyse statistique

Le but d'un test statistique est de tester une hypothèse concernant un ensemble de données. Deux grands types de tests statistiques peuvent être utilisés : les tests paramétriques et les tests non paramétriques. Leur utilisation exige l'application de deux conditions : (i) les échantillons considérés doivent être aléatoires et (ii) indépendants (Hunault, 2005). Les tests paramétriques, quand leurs conditions d'utilisation sont remplies, sont plus puissants que les tests non paramétriques. Toutefois, ils requièrent des modèles à fortes contraintes. En effet, en plus du caractère aléatoire et indépendant des échantillons, l'égalité de leur variance et la normalité de leur distribution doivent également être vérifiées (Razali et Wah, 2011). Quant aux tests non-paramétriques, leur emploi se justifie notamment quand la loi de distribution de la population étudiée est inconnue. Ils sont également très efficaces pour les échantillons de petites tailles (Hunault, 2005).

Aussi pour comparer les valeurs des indices de diversité et de structure associés aux individus semenciers et de régénération et de la biomasse aérienne, des tests paramétriques ou non paramétriques ont été appliqués. Ces tests commencent par la vérification de la normalité. Si la normalité s'avère vérifiée, il faut continuer avec le test d'homoscédasticité ; le cas échéant (différence significative entre les variances des échantillons), des changements de variables ont été faits avant une re-vérification de la normalité et de l'égalité des variances. Ces deux conditions réunies conduisent à l'emploi de tests paramétriques. Dans le cas contraire, ce sont les tests non-paramétriques qui ont été utilisés (Tableau 2). Par ailleurs, les conventions suivantes ont été adoptées pour la signification des

tests : (1) \*\*\*=Hautement significatif ( $p \leq 0,001$ ) ; (2) \*\*=Significatif ( $p \leq 0,01$ ) ; (3) \*= À peine Significatif ( $p \leq 0,05$ ) ; (4) NS : Non-significatif ( $p > 0,05$ ). Soulignons que les tests en question ont été effectués sous les logiciels XLSTAT 2008 et SPSS 20.

### ***III.3.2.1 Vérification de la normalité***

Il existe environ une quarantaine de tests statistiques pouvant être employés pour vérifier la normalité de la distribution des échantillons considérés (Dufour et *al.*, 1998). Toutefois, le test de Shapiro-Wilk se révèle comme étant le plus puissant même pour un nombre d'observations inférieur à 20 (Shapiro et Wilk, 1965 ; Razali et Wah, 2011 ; Ahad et *al.*, 2011). C'est la raison pour laquelle il a été employé dans cette étude.

### ***III.3.2.2 Vérification de l'égalité des variances***

Les tests de Levenne et de Bartlett sont les plus utilisés pour vérifier l'égalité des variances de deux échantillons et plus. La statistique de Levenne suit une loi de Fisher à  $k-1$  degré de liberté ( $k$  étant le nombre d'échantillons à tester) tandis que celle de Bartlett est une dérivée du test de  $\text{Khi}^2$  à  $k-1$  degré de liberté également. Notons que le test de Bartlett est plus sensible (plus performant) pour tester l'homoscédasticité des échantillons de petites tailles mais qui suivent une loi normale (Vorapongsathorn, Taejaroenkul et Viwatwongkasem, 2004). C'est pourquoi, il a été privilégié dans cette étude.

### ***III.3.2.3 Comparaison des moyennes des indices de diversité et de structure***

Pour cette étude, deux tests paramétriques ont été utilisés pour comparer les moyennes des divers paramètres caractérisant la végétation. Le test  $t$  de Student pour la comparaison de deux moyennes et l'analyse de la variance (ANOVA) dans le cas de comparaison multiple (Tableau 2).

Le test  $t$  de Student permet de comparer les moyennes de deux échantillons, indépendants ou appariés, distribués suivant une loi normale. Dans cette étude, il a été utilisé pour comparer les moyennes de deux échantillons indépendants suivant la loi normale, de variances égales mais inconnues (Penga et Tong, 2011). Quant à l'ANOVA, l'une de ces applications principales est de procéder à des comparaisons multiples dont le but est de vérifier si les paramètres correspondant aux différentes modalités d'un facteur varient significativement ou non (Boos et Brownie, 1995). De nombreux tests ont été proposés pour comparer les moyennes des modalités. La majorité de ces tests s'appuie sur l'hypothèse de la normalité. Néanmoins, le test  $Q$  de REGW (Ryan-Einot-Gabriel-Welsch) appartenant à la famille des tests MCA (*Multiple Comparisons of All* ou *All-Pairwise Comparisons*) se révèle comme étant la procédure itérative la plus performante dans une majorité de situations notamment lorsque les effectifs des modalités sont égaux pour l'ensemble des facteurs (Bender et Lange, 2001). C'est pourquoi il a été très sollicité dans cette étude.

Les tests non-paramétriques alternatifs à ces deux précédents tests sont le test U de Mann-Whitney pour la comparaison de deux échantillons et le test de Kruskal-Wallis dans le cas de plusieurs échantillons (deux ou plus). Le test de Mann-Whitney a été mis au point séparément mais de façon très similaire par trois chercheurs : Mann, Whitney, et Wilcoxon. Ce test se base sur les rangs des échantillons. Ainsi, ce test permet d'affirmer que les deux échantillons sont différents ou identiques en termes de position<sup>5</sup> (De Winter et Dodou, 2010). Quant au test de Kruskal-Wallis, il est l'équivalent non paramétré de l'ANOVA. Il permet de tester si k échantillons ( $k \geq 2$ ) proviennent ou non de la même population au sens d'un paramètre de position (Kruskal et Wallis, 1952).

**Tableau 2 : Liste des tests statistiques appliqués aux paramètres de diversité, de structure et à la biomasse aérienne des fourrés xérophiles**

Type d'individus	Variable	n	Changement de variable	Test statistique utilisé
Mature (Hm > 1,30 m)	<b>S (.400m<sup>-2</sup>)</b>	20	Aucun	ANOVA
	<b>R</b>	20	Aucun	ANOVA
	<b>Hm (m)</b>	20	Log (Hm)	ANOVA
	<b>D (.400m<sup>-2</sup>)</b>	20	Aucun	ANOVA
	<b>DI (.400m<sup>-2</sup>)</b>	20	Aucun	Test de Kruskal-Wallis
	<b>Rg (%)</b>	60	Aucun	Test de Kruskal-Wallis
	<b>MS Feuille (kg.m<sup>-2</sup>)</b>	40	Aucun	Test de Kruskal-Wallis
	<b>MS Tige (kg.m<sup>-2</sup>)</b>	40	Log (MS + 10)	ANOVA
	<b>MS Totale (kg.m<sup>-2</sup>)</b>	40	Log (MS + 10)	ANOVA
Régénération naturelle (Hm < 1,30 m)	<b>S (.100m<sup>-2</sup>)</b>	20	Aucun	Test de Kruskal-Wallis
	<b>R</b>	20	Aucun	ANOVA
	<b>Hm (m)</b>	20	Aucun	ANOVA
	<b>D (.100m<sup>-2</sup>)</b>	20	Log (D)	ANOVA
	<b>DI (.100m<sup>-2</sup>)</b>	20	Aucun	Test de Kruskal-Wallis

**S** : richesse spécifique ; **R** : indice de régularité ; **Hm** : Hauteur totale moyenne ; **D** : densité arbustive ; **DI** : densité de lianes ; **Rg** : taux de recouvrement global des herbacées ; **Log** : Logarithme à base 10 ; **MS** : matière sèche.

<sup>5</sup> Le paramètre de position est conceptuellement proche de la médiane.

### ***III.3.2.4 Comparaison des médianes des taux de régénération***

Deux tests statistiques peuvent être utilisés pour comparer l'égalité (ou non) des médianes des taux de régénération des espèces selon le type de sol et l'intensité des perturbations humaines. Le test de  $\text{Khi}^2$  s'emploie principalement pour les échantillons dont l'effectif est supérieur à trente (30) et le test exact de Fisher pour les échantillons au nombre inférieur à cette valeur. D'où l'emploi de ce dernier dans cette étude.

### ***III.3.2.5 Comparaison des proportions des espèces sans régénération et des espèces sans individus matures***

Trois approches différentes sont disponibles pour déterminer si k proportions peuvent être considérées comme étant toutes égales (hypothèse nulle ou  $H_0$ ) ou si au moins deux proportions sont différentes (hypothèse alternative ou  $H_a$ ). La première est le test du  $\text{Khi}^2$  qui est identique à celui utilisé dans l'analyse des tableaux de contingence. La seconde est celle de Monte-Carlo qui est une variante du test de  $\text{khi}^2$  mais donnant une valeur critique plus fiable dans la condition où le nombre de simulations est important. Enfin, la troisième procédure est celle de Marascuilo. Il est conseillé de ne l'utiliser que si les deux premiers tests ont rejeté l'hypothèse nulle. Pour ce faire, cette procédure effectue des tests de comparaison deux à deux pour tous les couples de proportions permettant ainsi d'identifier celles responsables de cet éventuel rejet. Dans cette étude, les proportions des espèces sans régénération (TR nul) sont comparées suivant les facteurs « type de sol » et « gradient d'intensité des perturbations humaines ». De même, les proportions des espèces sans individus mature sont comparées selon ces facteurs. À cet effet, les trois tests ont été utilisés simultanément.

### ***III.3.2.6 Analyse factorielle de la composition floristique***

Le principe des analyses factorielles est de donner une représentation géométrique simplifiée de l'information initiale qui est dans la plupart des cas trop volumineuse. Pour cette étude, l'analyse factorielle des correspondances (AFC) a été employée dans l'étude de la composition floristique des différents placeaux d'inventaire. En effet, l'AFC (contrairement à l'analyse en composantes principales ou ACP) offre la particularité de fournir un espace de représentation commun aux variables et aux individus et de décrire les variables qualitatives (Laffly, 2005).

L'AFC a été accompagnée d'un test d'indépendance entre les lignes et les colonnes du tableau de contingence composé des placeaux d'inventaire et des espèces qu'ils contiennent. En effet, le test d'indépendance permet de déterminer si les espèces sont distribuées aléatoirement (ou non) dans les placeaux de relevé. Plusieurs statistiques peuvent être utilisés :

- La statistique du  $\text{Khi}^2$  de Pearson qui permet de tester l'indépendance entre les lignes et les colonnes du tableau en mesurant à quel point le tableau est éloigné (au sens du  $\text{Khi}^2$ ) de ce que l'on pourrait obtenir en moyenne, en conservant les mêmes sommes marginales. Cette statistique suit une loi du  $\text{Khi}^2$  à  $(\text{Nombre de Lignes}-1) * (\text{Nombre de Colonnes}-1)$  degrés de

liberté. Son résultat étant asymptotique, il est prudent, avant d'utiliser ce test, de vérifier que :  $n$  (somme totale des valeurs contenues dans les cellules du tableau de contingence) est supérieur ou égal à 20 ; Qu'aucune somme marginale ( $n_i$  ou  $n_j$ ) n'est inférieure à 5 (Calot, 1965) et qu'au moins 80% des  $f_{ij}$  sont supérieurs à 5 (Conover, 1980).

- Le test exact de Fisher qui permet de calculer la probabilité pour qu'un tableau montrant une association encore plus forte entre les lignes et les colonnes soit observé (les sommes marginales étant fixées) et sous hypothèse nulle d'indépendance entre les lignes et les colonnes. Il a été utilisé dans le cas où les conditions d'utilisation de la statistique de  $\chi^2$  n'ont pas été vérifiées.

Soulignons que l'AFC a été appliquée sur un tableau contingence de 85 lignes (représentant les espèces) et de 20 colonnes (représentant les placeaux d'inventaire) pour la régénération naturelle et sur un tableau de contingence de 129 lignes (représentant les espèces) et de 20 colonnes (représentant les placeaux d'inventaire) pour les individus matures (hauteur totale > 1,30 m) des fourrés xérophiles.



Tableau 3 : Cadre opératoire de la recherche

Hypothèses	Question de recherche	Variables à observer	Indicateur d'hypothèse	Objectif	Activités
H1 : Les fourrés xérophiles présentent une faible résilience face au pâturage des petits ruminants.	Est-ce que la pratique de la fabrication de charbon de bois (CB) et le pâturage de petits ruminants (PR) affectent significativement le fonctionnement des écosystèmes des fourrés xérophiles (diversité, structure, régénération et production) ?	Composition floristique (individus mature et régénération). Richesse spécifique (individus mature et régénération). Indice de régularité (individus mature et régénération). Hauteur totale (individus mature et régénération). Densité (individus mature et régénération). Densité des lianes (individus mature et régénération). Taux global de recouvrement herbacé. Biomasse des feuilles (individus mature).	Variation significative des indices de diversité et de structure et de la biomasse des feuilles.	Déterminer la résilience des fourrés xérophiles face au pâturage des PR et à la coupe de bois pour la production de charbon de bois en prenant en compte le facteur sol.	Mettre en place des placeaux dans les zones pâturés et dans les zones non pâturés. Mettre en place des placeaux dans les sites de fabrication de charbon de bois et dans les sites de prélèvement de bois d'œuvre (pas de fabrication de charbon de bois). Réaliser des inventaires dendrométriques dans les placeaux installés. Abattre et peser la végétation au sein du quadra de relevé pour estimer la biomasse aérienne. Peser la matière fraîche, prélever des échantillons et mesurer la masse sèche.
H2 : les fourrés xérophiles présentent une faible résilience face à la fabrication de charbon de bois.		Composition floristique (individus mature et régénération). Richesse spécifique (individus mature et régénération). Indice de régularité (individus mature et régénération). Hauteur totale (individus mature et régénération). Densité (individus mature et régénération). Densité des lianes (individus mature et régénération). Taux global de recouvrement herbacé. Biomasse des tiges (individus mature).	Variation significative des indices de diversité et de structure et de la biomasse des tiges.		

## ***RÉSULTATS***

## IV.1 État de la végétation mature

### IV.1.1 Composition floristique des arbustes et des lianes

Hormis les espèces herbacées, 139 espèces ont été relevées durant les inventaires. Les 128 espèces qui ont pu être déterminées appartiennent à 84 genres et 44 familles. L'AFC réalisée sur la composition floristique des arbustes et des lianes (Figure 3) montre que le premier axe factoriel (15,11% de l'inertie totale) sépare les placeaux sur sable roux loin des villages (P10 ; P9 et P15) des placeaux sur dalle calcaire situés loin de villages (R10 ; R6 et R7). Les espèces caractérisant les fourrés sur sable roux éloignés des villages sont essentiellement *Gyrocarpus americanus* Kubitzki (15,13%) ; *Rhigozum madagascariense* Drake (7,47%) ; *Commiphora lasiodisca* H. Perrier (5,38%) ; *Chadsia flammea* Bojer (4,18%) ; *Isolona madagascariensis* (Baillon) Engler (3,60%) ; Ind11 (*Volivaza* ; 3,03%) ; *Didierea madagascariensis* (2,34%) ; *Commiphora simplicifolia* H. Perrier (1,87%) ; *Ampelosycios scandens* Thouars (1,02%) ; *Dioscorea heteropoda* Baker (0,93%) ; *Acacia bellula* Drake (0,91%) et *Cayratia triternata* (Baker) Descoings (0,82%). Pour les fourrés sur dalle calcaire éloignés des villages, les espèces caractéristiques sont *Chadsia* sp. Bojer (4,33%) ; *Securinega perrieri* Léandri (4,20%) ; *Commiphora lamii* (3,60%) ; Ind3 (*Fiatonamoky* ; 3,01%) ; *Diospyros manampetsae* H. Perrier (2,77%) ; *Operculicarya* sp. H. Perrier (2,60%) ; *Commiphora marchandii* Engler (2,38%) ; *Sclerocarya birrea* Hochstetter, Christian, Ferdinand et Friedrich (2,19%) ; *Ormocarpum bernierianum* (Baillon) Du Puy et Labat (1,89%) ; *Cedrelopsis grevei* (1,89%) ; *Lepidagathis grandidieri* Benoist (1,47%) ; *Dichrostachys lugardae* Brown, Nicholas Edward (1,29%) ; *Alluaudia comosa* Drake (1,02%) ; *Euphorbia fiherenensis* Poisson (0,97%) et *Dicraeopetalum mahafaliense* M. Peltier et Yakovlev (0,91%).

Le deuxième axe factoriel (11,40% de l'inertie totale) oppose les placeaux sur sable roux loin des villages (P10 et P9) des placeaux sur sable roux proches des villages (P2 ; P18 et P5). Les espèces caractérisant les placeaux sur sables roux proches des villages sont *A. bellula* (29,02%) ; *Terminalia gracilipes* Capuron (6,18%) ; *Didierea madagascariensis* (5,69%) ; *Dalbergia xerophila* (5,02%) ; *Pristimera bojeri* (Tul.) N. Hallé (4,11%) ; *Commiphora* sp. Jacquin (3,50%) ; *Digoniopterys microphylla* Arènes (1,48%) ; *Stereospermum euphorioides* Candolle (1,43%) ; Ind2 (*Fatra-bohitse* ; 1,30%) ; *Solanum bumeliaefolium* Dunal (1,23%) ; *Indigofera perrieri* R. Viguier (1,21%) ; *Helinus ovatus* Meyer (1,20%) ; *Neobeguea mahafaliensis* Leroy (0,88%) et *Operculicarya decaryi* H. Perrier (0,78%).

Aussi, le facteur sol influe plus que les perturbations d'origine humaine sur la composition floristique des individus matures des fourrés xérophiles. Néanmoins, la combinaison des perturbations anthropiques, fabrication de CB et pâturage des PR, modifie la composition floristique (en plus du facteur sol) des fourrés sur sable roux.

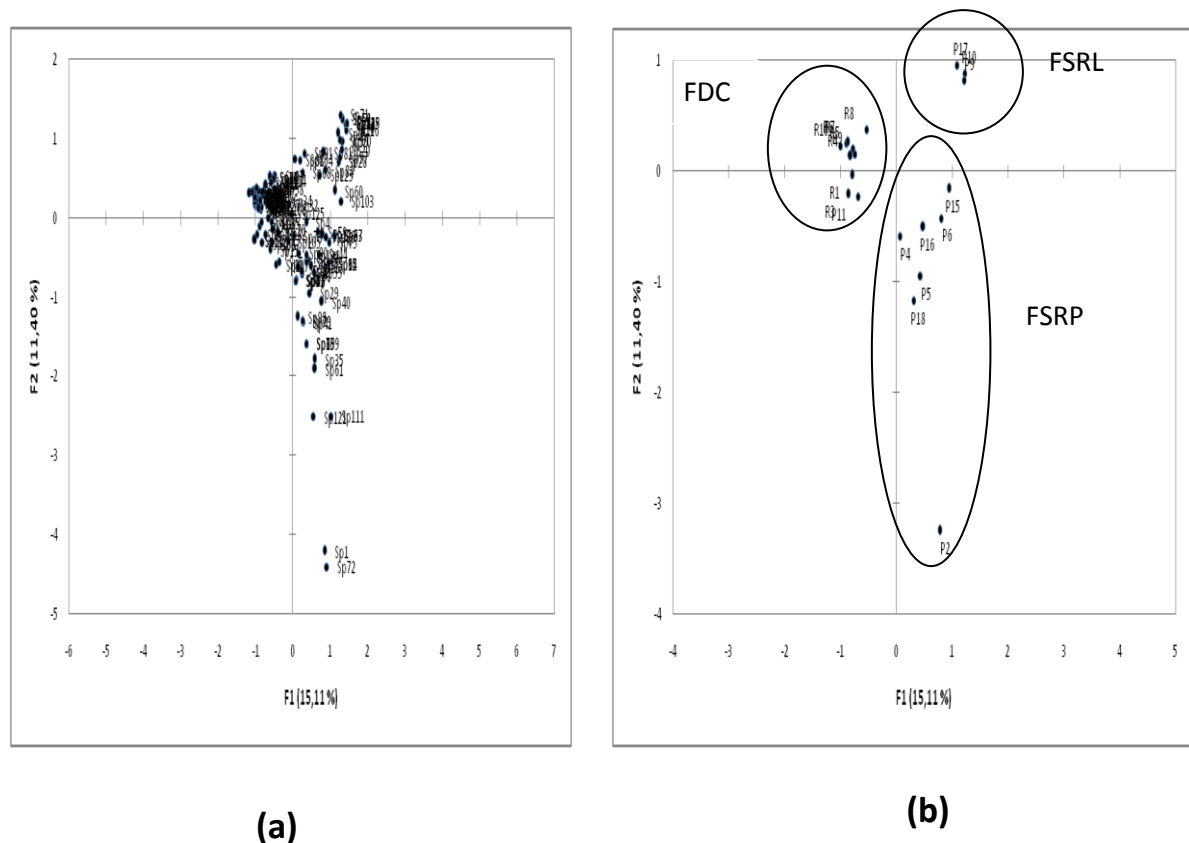


Figure 3 : Projection des espèces (a) et des placeaux (b) dans le premier plan factoriel pour les individus matures

FDC : fourrés xérophiles sur dalle calcaire ; FSRL : fourrés xérophiles sur sable roux loin des villages ; FSRP : fourrés xérophiles sur sable roux proche des villages.

#### IV.1.2 Diversité et structure

Les richesses spécifiques moyennes des quatre types de stations sont comprises entre 25 espèces au 400 m<sup>2</sup> (Fourrés sur sable roux proche des villages) et 34 espèces au 400 m<sup>2</sup> (Fourrés sur dalle calcaire loin des villages). Il semble que les fourrés situés loin des villages soient plus riches spécifiquement comparés aux fourrés situés proches des villages. Toutefois, les tests statistiques effectués ne montrent aucune différence significative des richesses spécifiques pour les quatre strates ( $F=3,032$  : degré de liberté (ddl)=3 ;  $p>0,05$  ; Tableau 4). De même, la variation des gradients d'intensités de pâturage et de fabrication de charbon de bois n'affectent pas les moyennes des indices de régularité des fourrés sur sols calcaire ( $t=0,226$  ; ddl=1 ;  $p>0,05$ ) et de ceux sur sable roux ( $t=-1,717$  ; ddl=1 ;  $p>0,05$  ; Tableau 4). L'indice moyen de régularité des fourrés sur sable roux proches des villages ( $R=0,76$ ) est cependant significativement différent de ceux sur sols calcaires ( $R=0,865$  ;  $F=4,865$  ; ddl=3 ;  $p<0,05$  ; Tableau 4). Pour la densité arbustive, les fourrés loin des villages sont plus denses (145 à 170 individus au 400 m<sup>2</sup>) que ceux situés proches des villages (80 individus au 400 m<sup>2</sup> ;  $F=7,714$  ; ddl=3 ;  $p<0,01$  ; Tableau 4). Par contre, le facteur sol n'affecte pas la densité ( $t=0,000$  et  $t=-0,822$ , respectivement pour les formations proches et éloignées des villages ; ddl=1 ;  $p>0,05$  ; Tableau 4). Les densités moyennes de lianes qui sont comprises entre 11 à 24 individus au 400 m<sup>2</sup> ne présentent aucune variation significative ( $Khi^2=4,864$  ; ddl=3 ;  $p>0,05$  ; Tableau 4). La hauteur moyenne des

fouffrés sur sable roux loin des villages ( $H_m= 3,73$  m) est significativement supérieure de celles des autres fouffrés xérophiles qui sont inférieures à 2,50 m ( $F=25,470$  ;  $ddl=3$  ;  $p<0,001$  ; Tableau 4). Enfin concernant le taux de recouvrement herbacé, seuls ceux des fouffrés sur dalle calcaire, loin des villages (12,6%) et des fouffrés sur dalle calcaire, proche des villages (30,47%) présentent des différences significatives entre eux ( $Khi^2=8,313$  ;  $ddl=3$  ;  $p<0,05$  ; Tableau 4). Aussi, la fabrication de charbon de bois et dans une moindre mesure le pâturage des PR affectent surtout la structure des fouffrés xérophiles (notamment la densité arbustive).

**Tableau 4 : Indices de diversité et de structure associés aux individus semenciers**

Type de sol	Intensité de perturbation anthropique	Nombre de placeaux	S ( $.400m^{-2}$ )	R	Hm (m)	D ( $.400m^{-2}$ )	DI ( $.400m^{-2}$ )	Nombre de transects linéaires	Rg (%)
Dalle calcaire	Faible (loin des villages)	5	34A	0,86A	2,31A	170A	17A	15	12,60A
	Forte (proche des villages)	5	23A	0,87A	2,22A	80B	11A	15	30,47B
Sable roux	Faible (loin des villages)	5	28A	0,76B	3,73B	145A	34A	15	22,27AB
	Forte (proche des villages)	5	25A	0,83A B	2,35A	80B	24A	15	22,73AB
<b>p</b>			NS	*	***	**	NS		*

**S** : richesse spécifique ; **R** : indice de régularité ; **Hm** : Hauteur totale moyenne ; **D** : densité arbustive ; **DI** : densité de lianes ; **Rg** : taux de recouvrement global des herbacées ; \*\*\*=Hautement significatif ( $p\leq 0,001$ ) ; \*\*=Significatif ( $p\leq 0,01$ ) ; \*= À peine Significatif ( $p\leq 0,05$ ) ; NS : Non-significatif ( $p>0,05$ ).

#### IV.1.3 Biomasse aérienne

Les biomasses moyennes des feuilles des quatre strates sont comprises entre  $1,04\text{ kg.m}^{-2}$  et  $1,71\text{ kg.m}^{-2}$  toutefois elles ne présentent pas de différences significatives ( $Khi^2=7,720$  ;  $ddl=3$  ;  $p>0,05$  ; Tableau 5). La biomasse moyenne des tiges des fouffrés sur sable roux loin des villages ( $7,10\text{ kg.m}^{-2}$ ) est significativement différente de celles des trois autres strates qui sont inférieures à  $3\text{ kg.m}^{-2}$  ( $F=17,532$  ;  $ddl=3$  ;  $p<0,001$  ; Tableau 5). Il en est de même de la biomasse aérienne totale (inférieure à  $4,5\text{ kg.m}^{-2}$  pour les trois autres strates contre  $8,81\text{ kg.m}^{-2}$  pour les fouffrés sur sable roux loin des villages ;  $F=13,100$  ;  $ddl=3$  ;  $p<0,001$  ; Tableau 5). Ainsi, le pâturage des PR n'affecte pas la biomasse des feuilles des formations proches des villages, contrairement à la fabrication de charbon de bois qui contribue à diminuer la biomasse ligneuse de ces formations.

Tableau 5 : Quantité de biomasse aérienne entre les strates de fourrés

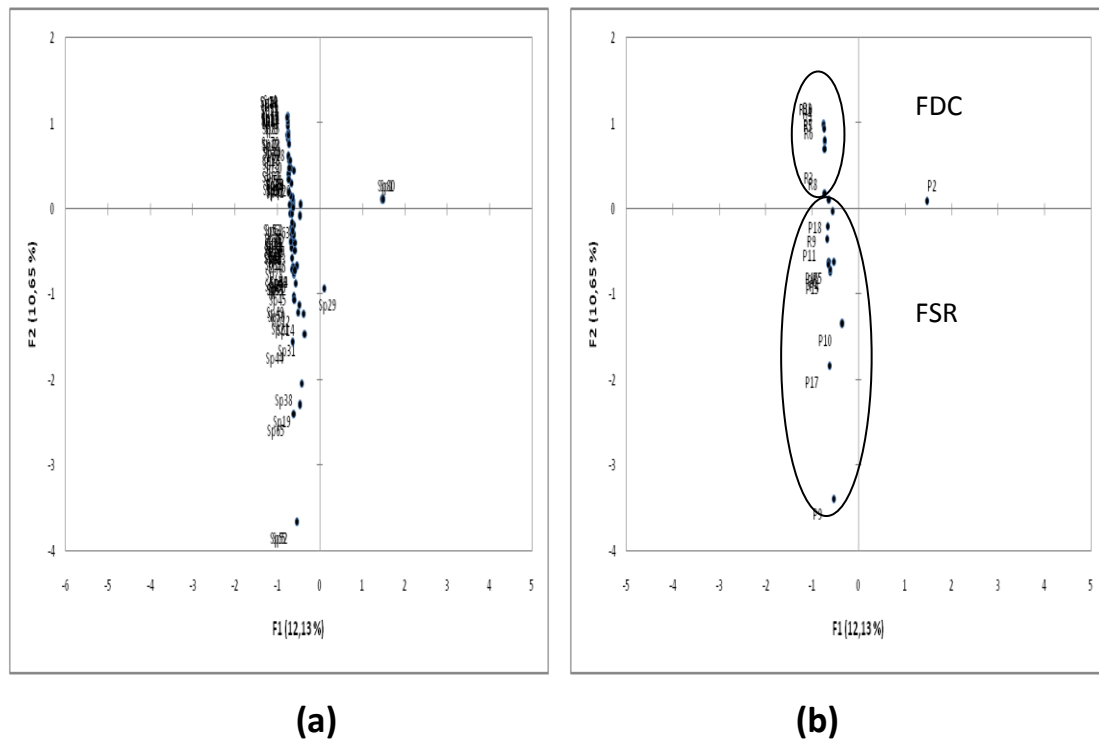
Type de sol	Intensité de perturbation anthropique	Nombre de quadrats	MS Feuille (kg.m <sup>-2</sup> )	MS Tige (kg.m <sup>-2</sup> )	MS Totale (kg.m <sup>-2</sup> )
Dalle calcaire	Faible (loin des villages)	10	1,65A	2,56A	4,21A
	Forte (proche des villages)	10	1,08A	1,99A	3,07A
Sable roux	Faible (loin des villages)	10	1,71A	7,10B	8,81B
	Forte (proche des villages)	10	1,04A	1,15A	2,19A
<b>p</b>			NS	***	***

MS : Matière sèche ; NS : Non significatif ( $p > 0,05$ ) ; \*\*\*=Hautement significatif ( $p \leq 0,001$ ).

## IV.2 État de la régénération naturelle

### IV.2.1 Composition floristique

Le premier axe (22,78% de l'inertie totale) du plan factoriel de l'AFC (Figure 4) réalisée sur la composition floristique de la régénération naturelle des fourrés xérophi les n'est associé à aucun gradient particulier. Il oppose uniquement deux placeaux : P2 (placeau sur sable roux proche des villages) et R10 (placeau sur dalle calcaire éloigné des villages). Le deuxième axe factoriel (11,65% de l'inertie totale) oppose les placeaux sur dalles calcaires (R10 ; R1 et R4) aux placeaux sur sables roux (P9 ; P10 et P17). Les espèces caractérisant les placeaux sur dalles calcaires sont *Suregada boiviniana* Baillon (11,95%) ; *Ruellia* sp. Linnaeus (4,78%) ; *Chadsia* sp. (4,48%) ; *Cedrelopsis grevei* (3,42%) et *Operculicarya* sp. (1,73%). Les espèces caractérisant la régénération naturelle dans les placeaux sur sables roux sont *Ampelosycios scandens* (33,04%) ; *Rhigozum madagascariense* (8,88%) ; *Gyrocarpus americanus* (7,72%) ; *Barleria humbertii* Benoist (4,76%) ; *Commiphora lasiodisca* (2,86%) ; *Paederia grandidieri* Drake (2,25%) ; *Ipomoea* sp. Linnaeus (2,06%) ; *Didierea madagascariensis* (1,51%) et *Chadsia flammea* (1,28%). Ainsi, seul le facteur sol affecte la composition floristique de la régénération naturelle des fourrés xérophi les.



**Figure 4 : Projection des espèces recensées (a) et des placeaux d'inventaire (b) dans le premier plan factoriel pour la régénération naturelle**

**FDC : fourrés xérophiles sur dalle calcaire ; FSR : fourrés xérophiles sur sable rouge.**

#### IV.2.2 Diversité et structure

Les moyennes des richesses spécifiques de la régénération naturelle des fourrés xérophiles sont comprises entre 8 (fourré sur sable roux loin des villages) à 15 espèces au 100 m<sup>2</sup> (fourrés sur dalle calcaire loin des villages). Les valeurs de l'indice de régularité sont comprises entre 0,67 à 0,77. La hauteur totale moyenne est comprise entre 0,26 et 0,39 m. L'écart entre les densités arbustives des fourrés sur dalle calcaire proche des villages (114 individus au 100 m<sup>2</sup>) et des fourrés sur dalle loin des villages (24 individus au 100 m<sup>2</sup>) semble considérable puisque les fourrés localisés proches des villages présentent une densité cinq (5) fois élevée comparé à ceux situés loin des villages et non le contraire. Enfin, concernant la densité de liane, la valeur maximale est de 18 individus au 100 m<sup>2</sup> (fourré sur sable roux proche des villages plus perturbé donc secondarisé) et la valeur minimale est de 3 individus au 100 m<sup>2</sup> (fourrés sur dalle calcaire loin des villages, moins perturbé et plus proche de l'état primaire). Toutefois, d'après les tests statistiques effectués, les moyennes des paramètres de diversité (S, R et DI) et de structure (Hm et D) associés aux individus de régénération ne varient pas de façon significative le long des gradients d'intensités de pâturage et de fabrication de charbon de bois (qui est fonction de la distance par rapport au village) ni avec le facteur sol ( $p > 0,05$  ; Tableau 6). Aussi, les perturbations anthropiques et plus particulièrement le pâturage des PR, n'affectent pas les individus de régénération au niveau diversité et structure spatiale.

Tableau 6 : Paramètres de diversité et de structure de la régénération naturelle

Type de sol	Intensité de perturbation anthropique	Nombre de placeaux	S (.100m <sup>-2</sup> )	R	Hm (m)	D (.100m <sup>-2</sup> )	DI (.100m <sup>-2</sup> )
Dalle calcaire	Faible (loin des villages)	5	15A	0,77A	0,38A	67A	3A
	Forte (proche des villages)	5	13A	0,76A	0,26A	60A	6A
Sable roux	Faible (loin des villages)	5	8A	0,78A	0,32A	24A	10A
	Forte (proche des villages)	5	9A	0,67A	0,39A	114A	18A
<b>p</b>			NS	NS	NS	NS	NS

**S** : richesse spécifique ; **R** : indice de régularité ; **Hm** : Hauteur totale moyenne ; **D** : densité arbustive ; **DI** : densité de lianes ; **NS** : non-significatif (p>0,05).

#### IV.2.3 Taux de régénération

Les taux de régénération des quatre strates sont globalement faible (TR< 100%). En effet, la distribution des TR pour les différents strates est déséquilibrée : les médianes ne présentent aucune différence significative (p>0,05 ; Tableau 7) et peuvent être considérées comme nulles. Autrement dit, la moitié des espèces considérées n'ont pas de régénération. En outre, seuls les trois quarts des espèces des différents strates seulement ont des TR compris entre 34 à 120% (en référence aux valeurs du troisième quartile ; Tableau 7). Pour les proportions d'espèces n'étant associées à aucun individu mature, il semble que les fourrés localisés proches des villages contiennent plus d'espèces exogènes (par rapport au placeau d'inventaire) que les fourrés localisés loin des villages. L'autre interprétation est que les individus matures ont été surexploités et il ne reste que la régénération. Toutefois, seule la proportion de ces espèces (sans individu mature) sur les fourrés sur dalle calcaire proches des villages présente une différence significative (p<0,001 ; Tableau 8) avec celles des fourrés sur dalle calcaire loin des villages et des fourrés sur sables roux éloignés des villages.

Tableau 7 : Taux de régénération des espèces d'individus matures

Type de sol	Intensité des perturbations humaines	Nombre d'individus matures	Taux de régénération (%)				Proportion des espèces avec un TR nul (%)
			1 <sup>er</sup> Quartile	Médiane	3 <sup>ème</sup> Quartile	Moyenne	
Dalle calcaire	Faible (loin des villages)	96	0,00	0,00A	61,70	126,40	54,17A
	Forte (proche des villages)	49	0,00	25,00A	116,70	252,50	46,94A
Sable roux	Faible (loin des villages)	68	0,00	0,00A	34,20	53,90	61,76A
	Forte (proche des villages)	58	0,00	0,00A	45,80	125,40	67,24A
<b>p</b>				NS			NS

**TR** : Taux de régénération ; **NS** : Non-significatif (p>0,05).



Tableau 8 : Proportion des espèces de régénération sans individus semenciers relevées dans les placeaux

Type de sol	Intensité des perturbations humaines	Nombre total d'espèces relevées parmi la régénération naturelle	Proportion d'espèces relevées parmi la régénération naturelle n'étant associée à aucun individu semencier (%)
Dalle calcaire	Faible (loin des villages)	128	25,00A
	Forte (proche des villages)	87	43,68B
Sable roux	Faible (loin des villages)	81	16,05A
	Forte (proche des villages)	85	31,76AB
<b>p</b>			***

\*\*\*=Hautement significatif ( $p \leq 0,001$ ).

#### IV.2.4 Étude de la régénération des principales espèces fourragères et charbonnières

Les espèces les plus utilisées peuvent être classées en trois types : les espèces dont le taux de régénération est très faible ( $TR < 100\%$ ). Ce sont les cas notamment de *Solanum bumeliaefolium*, *Tetrapterocarpon geayi* Humbert, *Gyrocarpus americanus*, *Thilachium seyrigii* et *Euphorbia stenoclada* pour les espèces le plus appréciées (Tableau 9) et de *Neobeguea mahafaliensis*, *Vitex sp.*, *Securinega perrieri*, *Terminalia ulexoides*, *Terminalia fatraea* (Poir.) DC., *Dalbergia xerophila*, *Mimosa delicatula* et *Thilachium seyrigii* pour les espèces charbonnières (destinées à la fabrication de charbon de bois (CB) ; Tableau 10). Ensuite viennent les espèces dont le TR est moyen (sensiblement égale à 100%) principalement pour les formations situées loin des villages. C'est le cas de *Tetrapterocarpon geayi* (Tableau 9) parmi les espèces les plus appréciées et de *Cedrelopsis grevei* (Tableau 10) parmi les espèces les plus utilisées dans la fabrication de CB. Enfin, les espèces appartenant au troisième type sont celles du genre *Croton* (pour les plus appréciées ; Tableau 9) et les espèces du genre *Acacia* (qui figurent parmi les plus utilisées dans la fabrication de CB ; Tableau 10) qui ont un fort potentiel de régénération mais uniquement dans les fourrés sur sable roux proches des villages.

Il apparaît ainsi que la régénération naturelle des espèces les plus utilisées est globalement mauvaise (Tableaux 9 et 10). La régénération des espèces les plus appréciées est très mauvaise dans les fourrés sur dalle calcaire proches des villages (l'ensemble des TR est nul ; Tableau 9) et les fourrés sur sable roux proches des villages (l'ensemble des TR est inférieur à 100% à l'exception de celui du genre *Croton* ; Tableau 9). Parallèlement, pour les espèces charbonnières à l'exception de celles du genre *Acacia*, la régénération naturelle est également mauvaise dans les fourrés sur sable roux proches des villages ( $TR \leq 12\%$  ; Tableau 10).

Tableau 9 : Taux de régénération des espèces les plus appréciées

Type de sol	Intensité des perturbations humaines	TR moyen (%)					
		<i>Croton</i> spp.	<i>Solanum bumeliaefolium</i>	<i>Tetrapterocarpon geayi</i>	<i>Gyrocarpus americanus</i>	<i>Thilachium seyrigii</i>	<i>Euphorbia stenoclada</i>
Dalle calcaire	Faible (loin des villages)	23,70	0,00	120,00	0,00	0,00	0,00
	Forte (proche des villages)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sable roux	Faible (loin des villages)	0,00	0,00	80,00	30,37	0,00	0,00
	Forte (proche des villages)	333,33	0,00	0,00	14,55	0,00	0,00

TR : Taux de régénération

Tableau 10 : Taux de régénération des espèces les plus utilisées dans la fabrication de charbon de bois

Type de sol	Intensité des perturbations humaines	TR moyen (%)									
		<i>Acacia</i> spp.	<i>Neobeguea mahafaliensis</i>	<i>Vitex sp</i>	<i>Securinega perrieri</i>	<i>Cedrelopsis grevei</i>	<i>Terminalia ulexoides</i>	<i>Terminalia fatraea</i>	<i>Dalbergia xerophila</i>	<i>Mimosa delicatula</i>	<i>Thilachium seyrigii</i>
Dalle calcaire	Faible (loin des villages)	0,00	0,00	0,00	28,85	447,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Forte (proche des villages)	0,00	0,00	0,00	0,00	146,67	0,00	16,67	0,00	0,00	0,00
Sable roux	Faible (loin des villages)	0,00	26,67	0,00	0,00	80,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Forte (proche des villages)	1445,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,43	0,00	0,00

TR : Taux de régénération.

## ***DISCUSSION***

## V Discussion

### V.1 Discussion de la méthodologie

#### V.1.1 Échantillonnage

Tous les types de sols du site d'étude n'ont pas été pris en compte. En effet, la plaine littorale longeant la bordure de mer caractérisée par des sables beiges n'a pas été prise en compte faute de temps. Cette plaine littorale héberge cependant tous les villages de la CR de Soalara-Sud et les fourrés xérophiiles qui la recouvrent sont si dégradés que la production de charbon de bois y a pratiquement cessé depuis une dizaine d'années (Raoliarivelo et *al.*, 2010). Ensuite, la taille des échantillons étudiés est faible, du fait des conditions d'accès difficiles des placeaux d'inventaire, et correspond au minimum requis pour les tests statistiques. Les observations doivent se faire, à l'avenir, sur de plus grands d'échantillons pour plus de précision et de représentativité des résultats obtenus.

#### V.1.2 Méthode d'estimation de la biomasse fiable mais coûteuse

La coupe intégrale se révèle être très intéressante en termes de fiabilité et de précision des données collectées. Toutefois, sa mise en œuvre, pour de grandes surfaces de végétation à étudier, est trop coûteuse du point financier (la méthode demande beaucoup de temps et de personnel) et dans une moindre mesure environnemental. Aussi, il serait judicieux pour les études à venir, de la combiner avec des méthodes dites indirectes notamment à travers l'établissement d'équations allométriques.

## V.2 Discussion des résultats

### V.2.1 Sol : principal facteur conditionnant la composition floristique arbustive

En se référant aux résultats de l'AFC relative aux individus semenciers, trois groupements végétaux ont été identifiés (Figure 3) : (i) les fourrés sur sable roux loin des villages, (ii) les fourrés sur sable roux proche des villages et (iii) les fourrés sur dalle calcaire. Pour les individus de régénération, les analyses ne distinguent que deux groupes de formations végétales (Figure 4) : (i) les fourrés sur dalle calcaire et (ii) les fourrés sur sable roux. Ainsi, globalement, la nature du substrat prime sur les perturbations humaines (pâturage des PR et production de CB) quant à la distribution des espèces dans les fourrés xérophiiles. Ce résultat est confirmé au niveau international : les effets des facteurs abiotiques (précipitation et nature du substrat) sur la composition floristique des communautés végétales en zone aride et semi-aride, sont généralement plus importants que ceux des facteurs biotiques (perturbations humaines ; Anderson et Hoffman, 2007 ; Zemmrich et *al.*, 2010). Cependant, les effets des activités anthropiques se discernent au niveau des fourrés sur sable roux. En effet, deux sous-groupes de cette formation végétale ont pu être mis en évidence (Figure 3) : (i) Les fourrés sur sable roux proche et (ii) ceux éloignés des villages. La raison en est vraisemblablement l'intensité et la nature des perturbations subies par cette formation puisque c'est le seul type de sol où la fabrication de charbon de bois est possible. En somme, la fabrication de CB combinée avec le pâturage des PR

affectent la composition floristique des fourrés sur sables roux tandis que le pâturage des PR seul n'influe pas sur celle des fourrés sur dalle calcaire.

### **V.2.2 Indices de diversité et de structure des individus semenciers peu affectés par les pratiques humaines**

Dans le cas des fourrés sur sable roux, il a été montré que les activités de fabrication de CB et le pâturage des PR affectent surtout la structure (densité et dans une moindre mesure la hauteur totale ; Tableau 4) de cette formation végétale. Ces résultats confirment ceux de Raoliarivelo et *al.* (2010) affirmant que la fabrication de CB tendrait surtout à réduire la densité des arbustes des fourrés xérophiiles des terroirs englobant les quartiers de Soalara Haut et d'Antsirafaly (CR de Soalara Sud). Pote et *al.* (2006), en zone semi-aride en Afrique du Sud ( $P < 600 \text{ mm.an}^{-1}$ ), ont également enregistré une diminution de la densité arbustive avec la proximité des villages et ce, à cause de l'augmentation des prélèvements de bois (utilisés pour le chauffage, la construction et les rites traditionnels) effectués par la population locale. De même, Oduori et *al.* (2011), en analysant des images satellitaires à très haute résolution de la partie Nord-est de la Somalie ( $P < 300 \text{ mm.an}^{-1}$ ) entre deux dates (2001 et 2006), ont montré que la densité arbustive régressait, à cause de la production intensive de CB, dans les zones proche de villages. Similairement, Wezel et Bender (2004) ont également constaté que la densité arbustive des zones situées près de deux villages en zone semi-aride à Cuba ( $P < 600 \text{ mm.an}^{-1}$ ) était très faible notamment en raison du surpâturage et de la coupe de bois (pour la production de bois de chauffe et de CB). Cette densité a augmenté avec l'éloignement aux villages.

Pour les fourrés sur dalle calcaire (qui sont essentiellement réservés au pâturage des PR), la richesse spécifique, l'indice de régularité et la hauteur totale ne varient significativement pas avec l'intensité de pâturage (Tableau 4). Ces résultats rejoignent ceux d'Anderson et Hoffman (2007) qui ont montré qu'un pâturage trop soutenu des PR, en zone semi-aride en Afrique du Sud ( $P < 400 \text{ mm.an}^{-1}$ ), ne conduit ni au développement de formations végétales mono ou pauci spécifiques (dominé par quelques espèces seulement) ni à la diminution de la richesse spécifique. Pareillement, Peco et *al.* (2006) en zone semi-aride en Espagne ( $P < 600 \text{ mm.an}^{-1}$ ) n'ont pas détecté de différence significative entre la richesse spécifique des zones pâturées et des zones abandonnées après pâturage. De même, Oba et Post (1999) au Kenya ( $P < 300 \text{ mm.an}^{-1}$ ) et Rabeniala et *al.* (2009 ; CR de Soalara-sud, Madagascar) n'ont pas non plus trouvé de différence significative entre les moyennes des hauteurs des arbustes des zones non-pâturées et des zones pâturées. Toutefois, la densité arbustive des fourrés sur dalle calcaire diminue significativement le long du gradient d'intensité de pâturage des PR (Tableau 4). Ces résultats renforcent ceux d'Allsopp et *al.* (2007) dans la région du Namaqualand en Afrique du Sud ( $P < 200 \text{ mm.an}^{-1}$ ) qui ont montré une diminution globale du taux de recouvrement des arbustes dans les zones soumises à un pâturage intensif. Inversement, le taux global de recouvrement des herbacées dans le site d'étude augmente avec l'intensité de pâturage. Ce résultat est en contradiction avec ceux d'Allsopp et *al.* (2007) qui ont montré que le recouvrement des herbacées augmente quand l'intensité de pâturage diminue : un pâturage trop intense engendre la dégradation de la végétation herbacée, ce

qui n'est probablement pas encore le cas dans le site d'étude qui présente une charge de 1 à 1,09 têtes des PR par hectare (Rabeniala et *al.*, 2009). Les résultats de cette étude s'accordent, par contre, avec les travaux de Salvatori et *al.* (2001) au Kenya, montrant que le surpâturage conduit à la conversion d'une savane broussailleuse en une savane herbeuse. Le recul de la couverture arbustive laisse des espaces libres propices au développement de plantes annuelles dont les espèces herbacées (Ayyad et Elkadi, 1982 ; Rabeniala et *al.*, 2009). Ce recul favorise également l'invasion d'espèce exogène surtout dans les fourrés sur dalle calcaire proche des villages.

### **V.2.3 Réduction de la biomasse ligneuse suite à la fabrication de charbon de bois**

Le pâturage des PR n'affecte ni la biomasse des feuilles (aussi bien pour les fourrés sur dalle calcaire que pour les fourrés sur sable roux) ni la biomasse des tiges des fourrés sur dalle calcaire (Tableau 5). Ces résultats confirment ceux de Rabeniala et *al.* (2009) qui n'ont pas constaté de différence significative entre les biomasses des feuilles et des tiges des fourrés situés sur la plaine littorale (zones proches des villages) plus pâturés et des fourrés situés sur le plateau calcaire (zones éloignées des villages) moins pâturés. De même, Oba et Post (1999) ont montré que le pâturage n'affecte pas la biomasse des feuilles et des brindilles des zones pâturées dans le Nord-ouest du Kenya ( $P < 200 \text{ mm.an}^{-1}$ ). En effet, selon ces chercheurs, le pâturage des PR n'affecte que les feuilles et brindilles non lignifiées des arbustes jusqu'à une certaine hauteur (hauteur inférieure à 1,5 m ; *Op. cit.*) et les individus de régénération. Par contre, la fabrication de charbon réduit la biomasse des tiges des fourrés sur sable roux (Tableau 5). Ainsi, cette activité affecte la biomasse ligneuse et la densité des arbustes par leur abattage et leur carbonisation.

### **V.2.4 Diversité et structure des individus de régénération, peu affectées par les perturbations d'origine anthropique**

Les résultats de cette étude ont montré que ni le pâturage des PR, ni la production de CB n'affectent les indices de diversité et de structure de la régénération naturelle des fourrés sur sable roux (Tableau 6). Ces résultats confirment ceux de Raoliarivelo et *al.* (2010) qui ont montré que l'activité charbonnière a peu d'impacts sur la régénération naturelle des fourrés xérophiles de la partie nord-ouest de la CR de Soalara-Sud.

De même, le pâturage des PR sur les formations sur dalle calcaire n'affecte pas les indices de diversité et de structure de la régénération naturelle (Tableau 6). Ces résultats confirment ceux de Rabeniala et *al.* (2009) dans la CR de de Soalara-Sud où aucune différence significative n'a été décelée entre les indices de diversité et de structure des fourrés proche des villages (plus perturbés) et des fourrés éloignés des villages (moins perturbés).

### V.2.5 Mauvaise régénération des fourrés xérophiles

De cette étude, il ressort que les fourrés xérophiles se régénèrent mal, même dans les zones peu perturbées par la fabrication de CB et le pâturage des PR. En effet, le taux de régénération en général dépasse rarement les 100% (soit un individu de régénération pour un individu mûre ; Tableaux 7, 9 et 10). À l'exception d'*Acacia* spp. et de *Croton* spp., les espèces les plus appréciées et celles les plus utilisées dans la fabrication de CB ont un taux de régénération très faible (< 100%) notamment dans les zones proches des villages (Tableaux 9 et 10). Parmi les hypothèses pouvant être avancées pour expliquer cette mauvaise régénération des fourrés xérophiles figurent les suivantes.

(i) La variation climatique qui tend vers une aridité croissante du climat affecte négativement la régénération naturelle (Lloret, Peñuelas et Estiarte, 2004 et 2005). En effet la température et la disponibilité en eau sont des facteurs clés lors de la germination des graines puisque leur levée de dormance s'opère grâce à des enzymes (généralement contenus dans la graine elle-même) qui ne peuvent fonctionner que pour des valeurs bien déterminées de la teneur en eau (de la graine) et de la température ambiante (Lloret et al., 2004). Un changement climatique (cas d'une sécheresse très prolongée où la température augmente et l'eau se raréfie) peut retarder (voire même supprimer) le temps de germination en inhibant la levée de dormance. La baisse du nombre de graines ayant germé peut à son tour influencer sur la taille, la structure et la composition du peuplement d'avenir (*Op. cit.*). Une analyse de la variation de la précipitation et de la température pendant une période supérieure à la durée de vie moyenne des graines des espèces arbustives dans la zone d'étude permettrait de tester en partie cette hypothèse.

(ii) L'inhibition de la reproduction végétale par l'extinction progressive et/ou la baisse de la densité des insectes pollinisateurs. En effet, le site d'étude est une zone de densation des criquets migrateurs, c'est-à-dire les criquets s'y multiplient et y commencent à acquérir des caractères grégaires pour devenir des essaims ravageurs (Duranton et al., 2009). C'est pourquoi, des tonnes d'insecticides y sont déversées depuis plusieurs années (>10 ans ; *Op. cit.*). Cependant, ces insecticides peuvent également tuer les insectes pollinisateurs (Devine et Furlong, 2007). Sans ces insectes, la pollinisation des plantes entomophiles ne se fera pas et la production de graines se réduit. D'où une faible régénération par germination de graines. Une analyse des impacts environnementaux de la lutte antiacridienne notamment sur l'entomofaune permettrait de tester cette hypothèse.

***CONCLUSION***



---

La fabrication de charbon de bois (CB) contribue à réduire la densité des ligneux et la biomasse ligneuse et affecte la composition floristique des fourrés sur sable roux. Par contre, elle affecte peu la diversité de cette formation végétale. L'hypothèse de recherche sur la faiblesse de la résilience des fourrés xérophiles face à cette activité anthropique a donc été partiellement validée. Par contre, le pâturage des petits ruminants (PR) a peu d'impact sur le fonctionnement des fourrés xérophiles du site d'étude. En effet, il affecte peu la composition floristique, la structure et la diversité des fourrés sur dalle calcaire et ses effets sur la régénération naturelle des deux types de fourrés considérés (fourrés sur dalle calcaire et sur sable roux) ne sont pas significatifs : aucune variation significative des taux moyens de régénération n'a été constatée le long du gradient d'intensité de pâturage. La seconde hypothèse sur la faiblesse de la résilience des fourrés xérophiles face au pâturage des PR a donc été invalidée. Néanmoins, les fourrés xérophiles se régénèrent mal puisque les taux moyens de régénération des strates considérées sont largement inférieurs à 100% : il n'y pas suffisamment d'individus de régénération pour remplacer les individus matures actuels. Les fourrés xérophiles du site d'étude sont donc formés par des peuplements vieillissants qui risquent de dépérir quand les individus matures actuels deviendront sénescents. Le pâturage des PR n'est pas à l'origine de cette mauvaise régénération puisqu'elle s'observe même dans les sites non pâturés. De même, la pratique de la fabrication de CB n'affecte pas *a priori* la régénération naturelle puisqu'elle s'attaque surtout aux individus matures. Aussi, cette mauvaise régénération peut-elle être imputée à d'autres facteurs qui n'ont pas été pris en compte dans cette étude et qui restent à déterminer. Les prochains travaux de recherches sur les fourrés xérophiles doivent ainsi se concentrer sur des analyses plus poussées de la régénération naturelle et sur l'identification des facteurs qui l'entravent. De même, la véritable portée de la pratique de la fabrication de CB sur le fonctionnement et l'avenir des fourrés xérophiles n'a pas vraiment été évaluée puisqu'un élément essentiel, qu'est la productivité, n'a pas encore été estimé. L'estimation de ce paramètre permettrait de connaître avec précision les limites de cet écosystème en termes de production de biomasse et d'évaluer la quantité maximale de CB pouvant être produite sans causer une dégradation irréversible des ressources. Ainsi, des études sur cette productivité des fourrés xérophiles sont également un deuxième axe de recherche qui reste à entreprendre.

## ***BIBLIOGRAPHIE***

- 
- ⊞ Abule E., Snyman H. A. et Smit G. N. (2007). “Rangeland evaluation in the middle Awash valley of Ethiopia: II. Woody vegetation.” *Journal of Arid Environments*. **70** : 272–292.
- ⊞ Ahad N. A., Yin T. S., Othman A. R. et Yaacob C. R. (2011). “Sensitivity of Normality Tests to Non-normal Data.” *Sains Malaysiana*. **40 (6)** : 637–641.
- ⊞ Allsopp N., Gaika L., Knight R., Monakisi C. et Hoffman M. T. (2007). “The impact of heavy grazing on an ephemeral river system in the succulent karoo, South Africa.” *Journal of Arid Environments*. **71** : 82–96
- ⊞ Anderson P. M. L. et Hoffman M. T. (2007). “The impacts of sustained heavy grazing on plant diversity and composition in lowland and upland habitats across the Kamiesberg mountain range in the Succulent Karoo, South Africa.” *Journal of Arid Environments*. **70** : 686 – 700.
- ⊞ Angassa A. et Oba G. (2010). “Effects of grazing pressure, age of enclosures and seasonality on bush cover dynamics and vegetation composition in southern Ethiopia.” *Journal of Arid Environments*. **74** : 111 – 120.
- ⊞ Archer E. R.M. (2004). “Beyond the “climate versus grazing” impasse: using remote sensing to investigate the effects of grazing system choice on vegetation cover in the eastern Karoo.” *Journal of Arid Environments*. **57** : 381 – 408.
- ⊞ Armstrong R. A., Slade S. V. et Eperjesi F. (2000). “Statistical Review: an introduction to analysis of variance (ANOVA) with special reference to data from clinical experiments in optometry.” *Ophthal. Physiol. Opt.* **20 (3)** : 235 – 241.
- ⊞ Ayyad, M. A. et Elkadi H. F. (1982). “Effect of protection and controlled grazing on the vegetation of a Mediterranean desert ecosystem in northern Egypt.” *Vegetatio*. **49**: 129 – 139.
- ⊞ Barabesi L. et Fattorini L. (1998). “The use of replicated plot, line, and point sampling for estimating species abundance and ecological diversity.” *Environmental and Ecological Statistics*. **5** : 353 – 370.
- ⊞ Bender R. et Lange S. (2001). “Adjusting for multiple testing—when and how.” *Journal of Clinical Epidemiology*. **54** : 343 – 349.
- ⊞ Benjaminsen, T. A. (1993). “Fuelwood and desertification: Sahel orthodoxies discussed on the basis of field data from the Gourma Region in Mali.” *Geoforum*. **24** : 397 – 409.
- ⊞ Berg S. S. et Dunkerley D. L. (2004). “Patterned Mulga near Alice Springs, central Australia, and the potential threat of firewood collection on this vegetation community.” *Journal of Arid Environments*. **59** : 313–350
- ⊞ Blanc-Pamard C., Milleville P., Grouzis M., Lasry, F. et Razanaka S. (2005). “Une alliance de disciplines sur une question environnementale : la déforestation en forêt des Mikea (Sud-Ouest de Madagascar).” *Natures Sciences Sociétés*. **13** : 7 – 20.
- ⊞ Boos D. D. et Brownie C. (1995). “ANOVA and rank tests when the number of treatments is large.” *Statistics and Probability Letters*. **23** : 183 – 191.

- ⊞ Brown S. L. (1997). “Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer”. FAO Forestry Paper 134, Rome, Italy.
- ⊞ Brown S. L. (2002). “Measuring carbon in forests: current status and future challenges.” *Environmental Pollution*. **116** : 363–372.
- ⊞ Brown S. L. et Lugo A. E. (1982). “The storage and production of organic matter in tropical forests stock and deposition in phytomass of the Russian forests.” *Water, Air and Soil Pollution*. **82** : 247 – 256.
- ⊞ Buma B. et Wessman C. A. (2012). “Differential species responses to compounded perturbations and implications for landscape heterogeneity and resilience.” *Forest Ecology and Management*. **266** : 25 – 33.
- ⊞ Calot G. (1965). *Cours de statistique descriptive*, Dunod, Paris.
- ⊞ Canfield R.H., (1941). “Application of line intercept method in sampling range vegetation.” *Journal of Forestry*. **39** : 288 – 394.
- ⊞ Carrière M. (1996). *Impact des systèmes d'élevage pastoraux sur l'environnement en Afrique et en Asie tropicale et subtropicale aride et semi-aride*. CIRAD-EMVT.
- ⊞ Casse T., Milhøj A., Ranaivoson S. et Randriamanarivo J. R. (2004). “Causes of deforestation in southwestern Madagascar: what do we know?” *Forest Policy and Economics*. **6** : 33 – 48.
- ⊞ Castellano P. J., Volk T. A. et Herrington L. P. (2009). “Estimates of technically available woody biomass feedstock from natural forests and willow biomass crops for two locations in New York State.” *Biomass and bioenergy*. **33** : 393 – 406.
- ⊞ Connell J.H. (1978). “Diversity in tropical rain forests and coral reefs.” *Science*. **199** : 1302–1310
- ⊞ Conover W. J. (1980). “Practical Nonparametric Statistics.” *J. Wiley*.
- ⊞ Cordonnier Th. (2004). *Perturbations, diversité et permanence des structures dans les écosystèmes forestiers*. Thèse de doctorat, spécialité : « Sciences Forestières ». École Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts (ENGREF). Paris.
- ⊞ Cornet A. et Guillomet J. L., (1976). “Divisions floristiques et étages de végétation à Madagascar.” *Cahier ORSTOM, Série Biologie*. **9** : 35 – 42.
- ⊞ Corona P., Chirici G., McRoberts R. E., Winter S. et Barbati A. (2011). “Contribution of large-scale forest inventories to biodiversity assessment and monitoring.” *Forest Ecology and Management*. **262** : 2061 – 2069.
- ⊞ Daget P. et Poissonet J. (1971). “Une méthode d’analyse des prairies, critères d’application.” *Ann. Agron.* **22** : 5 – 41.
- ⊞ Dajoz R. (1996). *Précis d'écologie*. Dunod, Paris.
- ⊞ De Winter J. C. F. et Dodou D. (2010). “Five-Point Likert Items: t test versus Mann-Whitney-Wilcoxon.” *Practical Assessment, Research & Evaluation*. **15 (11)**. 16p.
- ⊞ Devine G. J. et Furlong M. J. (2007). “Insecticide use: Contexts and ecological consequences.” *Agriculture and Human Values*. **24**: 281 – 306.

- ⊕ Dufour J. M., Farhat A., Gardiol L. et Khalaf L. (1998). "Simulation-based finite sample normality tests in linear regressions". *Econometrics Journal*. **1** : 154 – 173.
- ⊕ Duranton J. F., Franc A., Luong-Skovmand M. H. et Rachadi T. (2009). *Manuel de lutte préventive antiacridienne à Madagascar à l'usage des prospecteurs*. CIRAD, Montpellier, France, 307p.
- ⊕ Faraggitaki M.A. (1985). "Desertification by heavy grazing in Greece: the case of Lesbos island." *Journal of Arid Environments*. **9** : 237 – 242.
- ⊕ Fauroux E., Fieloux M., Joelson G., Rabedimy J-F., Rabibisoa P., Ramiandrisoa C., Randrianjanaka J-C., Ravaosolo J., Hoerner J-M. et Lombard J. (1987). "Le bœuf dans la vie économique et sociale d'un village Vezo : les nouveaux pâturages forestiers de la région de Salary (sud-ouest de Madagascar)". In Fieloux M. et Lombard J (éds). *Étude des transformations socio-économiques dans le sud-ouest malgache : l'exemple du couloir d'Antseva*. Élevage et Société. Aombe **1** : 87 – 95.
- ⊕ Fischer S.F., Poschlod P. et Beinlich B. (1996). "Experimental studies on dispersal of plants and animals on sheep in calcareous grasslands." *Journal of Applied Ecology*. **33** : 1206 – 1222.
- ⊕ Fournier F. et Sasson A. (1983). *Écosystèmes forestiers tropicaux d'Afrique*. ORSTOM-UNESCO, Recherches sur les ressources naturelles XIX. Jouve, Paris.
- ⊕ Frontier S. et Pichod Viale D. (1998). *Écosystèmes : structure, fonctionnement, évolution*. Dunod, Paris.
- ⊕ Godron M., Daget P., Long G., Sauvage C., Embercer L., Le Floch E., Poissonet J. et Wacquart J.P. (1983). *Relevé méthodologique de la végétation et du milieu : code et transcription sur cartes perforées*. CNRS, Paris.
- ⊕ Goudet M. (2008). *Estimation par télédétection de la ressource forestière sur le Département du Var*. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur forestier, AgroParisTech, Paris.
- ⊕ Gove J. H. (2003). "Moment and maximum likelihood estimators for Weibull distributions under length- and area-biased sampling." *Environmental and Ecological Statistics*. **10** (4) : 455 – 467.
- ⊕ Guyot L. (2002). *Reconnaissance hydrogéologique pour l'alimentation en eau d'une plaine littorale en milieu semi-aride : Sud-Ouest de Madagascar*. Thèse de doctorat, discipline "Sciences de la terre". Faculté des Sciences et Techniques, Université de Nantes.
- ⊕ Heady H.F. et Child R.D. (1994). "Rangeland Ecology and Management." *Westview Press, Oxford*. p. 519.
- ⊕ Holling C. S. (1973). "Resilience and stability of ecological systems". *Annual Review of Ecology and Systematics*. **4** : 1 – 23.
- ⊕ Hunault G. (2005). "Quelques rappels sur les analyses statistiques". Université d'Angers, Angers.
- ⊕ Karlowski U. (2006). "Afromontane old-field vegetation: secondary succession and the return of indigenous species." *African Journal of Ecology*. **44** : 264 – 272.

- ⊕ Koechlin J., Guillaumet J – L. et Morat P. (1974). *Flore et végétation de Madagascar*. J. Cramer, Vaduz.
- ⊕ Kruskal W. H. et Wallis W. A. (1952). “Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis.” *Journal of the American Statistical Association*. **47 (260)** :583 – 621.
- ⊕ Laffly D. (2005). “Introduction à l’analyse factorielle des correspondances”, Laboratoire « Société - Environnement – Territoire », CNRS et Université de Pau, Pau.
- ⊕ Landau S., Perevolotsky A., Bonfil D., Barkai D. et Silanikove N. (2000). “Utilization of low quality resources by small ruminants in Mediterranean agro-pastoral systems: the case of browse and aftermath cereal stubble.” *Livestock Production Science*. **64** : 39 – 49.
- ⊕ Lasry, F., Grouzis, M., Milleville, P. et Razanaka, S., (2004). “Dynamique de la déforestation et agriculture pionnière dans une région semi-aride du Sud-Ouest de Madagascar : exploitation diachronique de l’imagerie satellitale haute résolution. ” *Photo-Interprétation*, **1** : 26 – 33.
- ⊕ Lescuyer G et Locatelli, B. (1999). "Rôle et valeur des forêts tropicales dans le changement climatique". *Bois et Forêts des Tropiques*. **260 (2)** : 5 – 18.
- ⊕ Lloret, F., Peñuelas, J. et Estiarte, M. (2004). “Experimental evidence of reduced diversity of seedlings due to climate modification in a Mediterranean-type community.” *Global Change Biology*. **10** : 248 – 258.
- ⊕ Lloret, F., Peñuelas, J. et Estiarte, M. (2005). “Effects of vegetation canopy and climate on seedling establishment in Mediterranean shrubland.” *Journal of Vegetation Science*. **16** : 67 – 76.
- ⊕ Louhaichi M., Ghassali F., Salkini A. K. et Petersen S. L. (2012). “Effect of sheep grazing on rangeland plant communities: Case study of landscape depressions within Syrian arid steppes.” *Journal of Arid Environments*. **79** : 101 – 106.
- ⊕ Mace G., (1988). “Le concept”, in *Guide d’élaboration d’un projet de recherche*, Presses de l’Université Laval, Québec : 19 – 20.
- ⊕ Mahamane L. et Mahamane S. (2005). “Biodiversity of ligneous species in semi-arid to arid zones of southwestern Niger according to anthropogenic and natural factors.” *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **105** : 267 – 271.
- ⊕ Mahieu M., Archimède H., Fleury J., Mandonn et N. et Alexandre G. (2008). “Intensive grazing system for small ruminants in the Tropics: The French West Indies experience and perspectives.” *Small Ruminant Research*. **77** : 195–207.
- ⊕ Mahiri I. et Howorth C. (2001). “Twenty years of resolving the irresolvable: approaches to the fuelwood problem in Kenya.” *Land degradation and development*. **12** : 205 – 215.
- ⊕ Malo J.E. et Suarez F. (1995). “Herbivorous mammals as seed dispersers in a Mediterranean dehesa.” *Oecologia*. **104** : 246 – 255.
- ⊕ Mana P., Rajaonarivelo S. et Milleville P. (2001). « Production de charbon de bois dans deux situations forestières de la région de Tuléar ». In Razanaka S., Grouzis M., Milleville P., Moizo B. et Aubry C. (eds). *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar*. CNRE–IRD, Antananarivo : 199 – 210.

- ⊕ Manzano M.G. et Navar J. (2000). “Processes of desertification by goats heavy grazing in the Tamaulipan thornscrub (matorral) in northeastern Mexico.” *Journal of Arid Environments*. **44 (1)** : 1 – 17.
- ⊕ Marcon E. (2011). “Mesures de la biodiversité”. *Écologie des forêts de Guyane, Guyane*.
- ⊕ Martin S. (2005). *La résilience dans les modèles de systèmes écologiques et sociaux*, Thèse de doctorat, spécialité : « Mathématiques Appliquées ». École Normale Supérieure de Cachan, Cachan.
- ⊕ Masezamana H. N., Andrianarisoa J. H., Raoliarivelo L. I. B. et Randriamalala R. J. (2013). *Identification et analyse d'activités alternatives à la fabrication de charbon de bois dans le district de Toliara II*. Rapport DERAD en cours.
- ⊕ McIvor J. G. (2001). “Pasture management in semi-arid tropical woodlands: regeneration of degraded pastures protected from grazing.” *Australian Journal of Experimental Agriculture*. **41** : 487 – 496.
- ⊕ Moleele N. M. et Perkins J. S. (1998). “Encroaching woody plant species and boreholes: is cattle density the main driving factor in the Olifants Drift communal grazing lands, south-eastern Botswana?” *Journal of Arid Environments*. **40** : 245 – 253.
- ⊕ Molina S. I., Valladares A. G. R., Gardner S. et Cabido M. R. (1999). “The effects of logging and grazing on the insect community associated with a semi-arid chaco forest in central Argentina.” *Journal of Arid Environments*. **42** : 29–42.
- ⊕ Mora J. L., Armas-Herrera C. M., Guerra J.A., Rodríguez-Rodríguez A. et Arbelo C.D. (2012). “Factors affecting vegetation and soil recovery in the Mediterranean woodland of the Canary Islands (Spain).” *Journal of Arid Environments*. **87** : 58 – 66.
- ⊕ Munson S. M., Webb R. H. et Hubbard J. A. (2011). “A comparison of methods to assess long-term changes in Sonoran Desert vegetation.” *Journal of Arid Environments*. **75** : 1228 – 1231.
- ⊕ Nagothu U. S. (2001). “Fuelwood and fodder extraction and deforestation: mainstream views in India discussed on the basis of data from the semi-arid region of Rajasthan.” *Geoforum*. **32** : 319 – 332.
- ⊕ Oba G. et Post E. (1999). “Browse production and offtake by free-ranging goats in an arid zone, Kenya.” *Journal of Arid Environments*. **43** : 183 - 195.
- ⊕ Oduori S.M., Rembold F., Abdulle O.H. et Vargas R. (2011). “Assessment of charcoal driven deforestation rates in a fragile rangeland environment in North Eastern Somalia using very high resolution imagery.” *Journal of Arid Environments*. **75** : 1173 – 1181.
- ⊕ Okin G.S., Murray B. et Schlesinger W.H. (2001). “Degradation of sandy arid shrubland environments: observations, process modeling, and management implications.” *Journal of Arid Environments*. **47 (2)** : 123 – 144.
- ⊕ Pandey D, (2002). *Fuelwood studies in India: myth and reality*. Center for International Forestry Research (CIFOR). Jakarta.

- ⊞ Parker K. (1991). “Topography, substrate, and vegetation patterns in the northern Sonoran Desert.” *Journal of Biogeography*. **18** : 151 – 163.
- ⊞ Pearson T., Brown S. L. et Birdsey R. A. (2007). *Measurement Guidelines for the Sequestration of Forest Carbon*. United States Department of Agriculture, Delaware.
- ⊞ Peco B., Sánchez A. M. et Azcárate F. M. (2006). “Abandonment in grazing systems: Consequences for vegetation and soil.” *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **113** : 284 – 294.
- ⊞ Penga L. et Tong T. (2011). “A note on a two-sample T test with one variance unknown.” *Statistical Methodology*. **8** : 528–534
- ⊞ Picard N. (2006). “Méthode d’inventaire forestier”. Projet de développement rural participatif dans le moyen Atlas central (Projet KHÉNIFRA), UPR Dynamique forestière, CIRAD.
- ⊞ Pimm S. L. (1984). “The complexity and stability of ecosystems.” *Nature*. **307** : 321 – 326.
- ⊞ Pote J., Shackleton C., Cocks M. et Lubke R. (2006). “Fuelwood harvesting and selection in Valley Thicket, South Africa.” *Journal of Arid Environments*. **67** : 270–287.
- ⊞ Pueyo Y., Alados C. L. et Ferrer-Benimeli C. (2006). “Is the analysis of plant community structure better than common species-diversity indices for assessing the effects of livestock grazing on a Mediterranean arid ecosystem?” *Journal of Arid Environments*. **64** : 698–712.
- ⊞ Rabeniala R., Raoliarivelo L. I. B., Masezamana H. N., Andrianarisoa J. H. et Randriamalala R. J. (2009). *Gestion de pâturage pour le cheptel de petits ruminants (ovins et caprins) dans une zone semi-aride du district de Toliara II*. Rapport final, DERAD, Eastern and Southern Africa Partnership Programm, Antananarivo.
- ⊞ Rajoelison L. G. (1997). *Étude sylvicole de la forêt de tropicale humide Malgache : Exemples de la forêt littorale exploitée de Tampo (Fenoarivo - Atsinanana)*. Thèse de Doctorat, Série du Département des Eaux et Forêts N°4, Antananarivo.
- ⊞ Rajoelison L. G. (2008). “Sylviculture des forêts naturelles”, Support de cours pédagogique, ESSA-Forêts.
- ⊞ Rakotoarimanana V. (2008). *Feu, pâturage et dynamique des savanes à Madagascar*. HDR, Faculté des Sciences, Université d’Antananarivo.
- ⊞ Rakotoarimanana V., Gondard H., Ranaivoarivelo N. et Carrière S. (2008). “Influence du pâturage sur la diversité floristique, la production et la qualité fourragères d’une savane des Hautes Terres malgaches (région de Fianarantsoa).” *Sécheresse*. **19 (1)** : 39 – 46.
- ⊞ Rakotondrasoa L. O. (2009). *Étude du stock de carbone de la forêt de Manompana (Nord-est de Madagascar)*. Mémoire pour l’obtention du diplôme d’études approfondies, option : Foresterie, Développement et Environnement, École Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d’Antananarivo.
- ⊞ Ramamonjisoa, B. S. (1993). *La ville au mille charbonniers*. Série du Département des Eaux et Forêts N°1, Antananarivo.



- ⊕ Randriamanarivo R. (2001). “L’activité charbonnière dans les économies paysannes (axe routier Andranovory – Tuléar RN7)”. In Razanaka S., Grouzis M., Milleville P., Moizo B. et Aubry C. (eds). *Sociétés paysannes, transitions agraires et dynamiques écologiques dans le sud-ouest de Madagascar*. CNRE–IRD, Antananarivo : 211 – 221.
- ⊕ Randriamiharisoa N. A. (2009). *L’élevage de ruminants dans le sud-ouest malgache face aux variabilités climatiques – cas de deux villages périphériques de la réserve spéciale de Beza Mahafaly*. Mémoire d’ingénieur. Département « Agriculture », École supérieure des sciences agronomiques, Université d’Antananarivo.
- ⊕ Raoliarivelo L. I. B., Rabeniala R., Masezamana H. N., Andrianarisoa J. H. et Randriamalala R. J. (mars 2010). *Impact de la fabrication de charbon de bois sur la production et la disponibilité fourragère de pâturage en zone subaride, cas de la Commune de Soalara-Sud, Toliara II*. Rapport final, DERAD, Eastern and Southern Africa Partnership Programm, Antananarivo.
- ⊕ Razafimahatratra H. M. (2006). *Évaluation des stocks de carbone du sol sous différents modes d’usage des terres dans le corridor forestier de Vohimana. District de Moramanga (Madagascar)*. Mémoire pour l’obtention du diplôme d’études approfondies, option : Foresterie, Développement et Environnement, École Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d’Antananarivo.
- ⊕ Razakamanarivo H. (2005). *Étude du stock de carbone de la forêt dense sèche. Forêt de Kirindy – forêt du Menabe central*. Mémoire pour l’obtention du diplôme d’études approfondies, option : Foresterie, Développement et Environnement, École Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d’Antananarivo.
- ⊕ Razali N. M. et Wah Y. B. (2011). “Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests.” *Journal of Statistical Modeling and Analytics*. **2 (1)** : 21 – 33.
- ⊕ Razanaka S. J. (1996). “Répartition des espèces xérophiles dans le sud-ouest de Madagascar”. In Lourenço W. R. (Ed.). *Biogéographie de Madagascar*. ORSTOM, Paris : 171 – 176.
- ⊕ Rothe, P. L. (1964). “Régénération naturelle en forêt tropicale : le *Dipterocarpus dyeri* (Dau) sur le versant cambodgien du golfe du Siam”. *Bois et Forêt des Tropiques*. **8**: 386 – 397.
- ⊕ Salvatori V., Egunyu F., Skidmore A. K., De Leeuw J. et Van Gils H. A. M. (2001). “The effects of fire and grazing pressure on vegetation cover and small mammal populations in the Maasai Mara National Reserve”. *African Journal of Ecology*. **39** : 200 – 204.
- ⊕ Scholl E. L. et Kinucan R. (1996). “Grazing effects on reproductive characteristics of common curly mesquite (*Hilaria belangeri*).” *Southwest Naturalist*. **41 (3)** : 251 – 256.
- ⊕ Segura M. et Kanninen. (2005). “Allometrics models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica.” *Biotropica*. **37 (1)** : 2 – 8.
- ⊕ Shapiro S. S. et Wilk M. B. (1965). “An analysis of variance test for normality (complete samples).” *Biometrika*. **52 (3/4)** : 591 – 611.
- ⊕ Sheil D. et Burslem D. F.R.P. (2003). “Disturbing hypotheses in tropical forests.” *Ecology and Evolution*. **18 (1)** : 18 – 26.

- ☞ Smith, R.S. et Rushton, S.P. (1994). “The effects of grazing management on the vegetation of mesotrophic (meadow) grassland in Northern England.” *Journal of Applied Ecology*. **31**: 13 – 24.
- ☞ Thiele T., Jeltsch F. et Blaum N. (2008). “Importance of woody vegetation for foraging site selection in the Southern Pied Babbler (*Turdoides bicolor*) under two different land use regimes.” *Journal of Arid Environments*. **72** : 471 – 482.
- ☞ Vorapongsathorn T., Taejaroenkul S. et Viwatwongkasem C. (2004). “A comparison of type I error and power of Bartlett’s test, Levene’s test and Cochran’s test under violation of assumptions.” In Songklanakarin J. (ed). *Science Technologie*. **26 (4)** :538 – 547.
- ☞ Wezel A. et Bender S. (2004). “Degradation of agro-pastoral village land in semi-arid southeastern Cuba.” *Journal of Arid Environments*. **59** :299 – 311.
- ☞ Whitford, W.G., Martinez, T.G. et Martinez, M.E. (1995). “Persistence of desertified ecosystems: explanations and implications.” *Environmental Monitoring and Assessment*. **37**: 319–322.
- ☞ World Wildlife Fund (WWF). (2008). “Madagascar spiny thickets”. [En ligne], Disponible sur le site de Encyclopedia of Earth. Cutler J (Ed.). Cleveland (Washington, D.C. : Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment), URL : [www.eoearth.org/article/Madagascar\\_spiny\\_thickets?topic=49597](http://www.eoearth.org/article/Madagascar_spiny_thickets?topic=49597), [mise à jour le 18 octobre 2011], (page consultée, le 13 mars 2012).
- ☞ Zemmrich A., Manthey M., Zerbe S. et Oyunchimeg D. (2010). “Driving environmental factors and the role of grazing in grassland communities: A comparative study along an altitudinal gradient in Western Mongolia.” *Journal of Arid Environments*. **74** : 1271 – 1280.

***ANNEXES***

---

Annexe 1 : Données climatiques de la station de Toliara (moyenne des 30 dernières années, 1972-2002) .....	II
Annexe 2 : Fiche de relevé floristique pour les arbustes et les lianes .....	II
Annexe 3 : Fiche de relevé floristique pour les herbacées .....	III
Annexe 4 : Test d'indépendance entre les placeaux d'inventaire et les espèces relevées pour les individus semenciers (seuil $\alpha=0,05$ ).....	IV
Annexe 5 : Test d'indépendance entre les placeaux d'inventaire et les espèces relevées pour la régénération naturelle (seuil $\alpha=0,05$ ) .....	IV
Annexe 6 : Tests de normalité et d'égalité de la variance pratiqués sur les différents paramètres de la végétation semencière (seuil $\alpha=0,05$ ).....	V
Annexe 7 : Tests de normalité et d'égalité de la variance pratiqués sur les différents paramètres de la régénération naturelle (seuil $\alpha=0,05$ ) .....	VI





**Annexe 4 : Test d'indépendance entre les placeaux d'inventaire et les espèces relevées pour les individus semenciers (seuil  $\alpha=0,05$ )**

Test de Khi <sup>2</sup>		Test exact de Fisher		Test G <sup>2</sup> de Wilks		Test de Monte Carlo (Nombre de simulations = 5000)	
Khi <sup>2</sup> (Valeur observée)	13390,313			G <sup>2</sup> de Wilks (Valeur observée)	7610,291	Khi <sup>2</sup> (Valeur observée)	13390,313
Khi <sup>2</sup> (Valeur critique)	2547,841			G <sup>2</sup> de Wilks (Valeur critique)	2547,841	Khi <sup>2</sup> (Valeur critique)	2565,241
DDL	2432			DDL	2432	DDL	128
p-value	< 0,0001	p-value (bilatérale)	< 0,0001	p-value	< 0,0001	p-value	< 0,0001
alpha	0,05	alpha	0,05	alpha	0,05	alpha	0,05

**Annexe 5 : Test d'indépendance entre les placeaux d'inventaire et les espèces relevées pour la régénération naturelle (seuil  $\alpha=0,05$ )**

Test de Khi <sup>2</sup>		Test exact de Fisher		Test G <sup>2</sup> de Wilks		Test de Monte Carlo (Nombre de simulations = 5000)	
Khi <sup>2</sup> (Valeur observée)	12166,647			G <sup>2</sup> de Wilks (Valeur observée)	5339,343	Khi <sup>2</sup> (Valeur observée)	12166,647
Khi <sup>2</sup> (Valeur critique)	1690,054			G <sup>2</sup> de Wilks (Valeur critique)	1690,054	Khi <sup>2</sup> (Valeur critique)	1795,079
DDL	1596			DDL	1596	DDL	84
p-value	< 0,0001	p-value (bilatérale)	< 0,0001	p-value	< 0,0001	p-value	< 0,0001
alpha	0,05	alpha	0,05	alpha	0,05	alpha	0,05

Annexe 6 : Tests de normalité et d'égalité de la variance pratiqués sur les différents paramètres de la végétation semencière (seuil  $\alpha=0,05$ )

Paramètre	Strate de fourré	Changement de variable	Normalité (Test de Shapiro-Wilk)		Homoscédasticité (Test de Bartlett)	
			Statistique	P	Statistique	P
S.400m <sup>-2</sup>	FDCP	Aucun	0,964	0,833	1,639	0,651
	FDCL		0,920	0,530		
	FSRP		0,913	0,487		
	FSRL		0,997	0,997		
R	FDCP	Aucun	0,896	0,387	6,526	0,089
	FDCL		0,914	0,494		
	FSRP		0,920	0,529		
	FSRL		0,937	0,644		
Hm (dm)	FDCP	Log (Hm)	0,924	0,556	5,842	0,120
	FDCL		0,919	0,524		
	FSRP		0,966	0,848		
	FSRL		0,968	0,859		
D.400m <sup>-2</sup>	FDCP	Aucun	0,955	0,772	5,264	0,153
	FDCL		0,836	0,155		
	FSRP		0,954	0,765		
	FSRL		0,992	0,987		
DI.400m <sup>-2</sup>	FDCP	Log (DI + 10)	0,989	0,975	Aucun	Aucun
	FDCL		0,754	0,033		
	FSRP		0,916	0,504		
	FSRL		0,912	0,478		
Rg	FDCP	Log (Rg + 10)	0,950	0,517	Aucun	Aucun
	FDCL		0,939	0,375		
	FSRP		0,933	0,300		
	FSRL		0,876	0,042		
Biomasse des feuilles	FDCP	Log (MS feuille + 10)	0,697	0,001	Aucun	Aucun
	FDCL		0,963	0,816		
	FSRP		0,868	0,094		
	FSRL		0,935	0,496		
Biomasse des tiges	FDCP	Log (MS tige + 10)	0,921	0,364	7,796	0,050
	FDCL		0,871	0,103		
	FSRP		0,901	0,225		
	FSRL		0,933	0,481		
Biomasse totale	FDCP	Log (MS + 10)	0,906	0,257	2,899	0,407
	FDCL		0,940	0,555		
	FSRP		0,856	0,068		
	FSRL		0,931	0,457		

**FDCL** : fourré sur dalle calcaire, loin des villages ; **FDCP** : fourré sur dalle calcaire, proche des villages ;

**FSRL** : fourré sur sable roux, loin des villages ; **FSRP** : fourré sur sable roux, proche des villages ; **S** : richesse spécifique ; **R** : indice de régularité ; **D** : densité ; **DI** : densité de lianes ; **Rg** : taux de recouvrement global des herbacées ; **MS** : Matière sèche ; **Log** : Logarithme à base 10.



**Annexe 7 : Tests de normalité et d'égalité de la variance pratiqués sur les différents paramètres de la régénération naturelle (seuil  $\alpha=0,05$ )**

Paramètre	Strate de fourré	Changement de variable	Normalité (Test de Shapiro-Wilk)		Homoscédasticité (Test de Bartlett)	
			Statistique	P	Statistique	P
S. 100 m <sup>-2</sup>	FDCP	Log (S + 10)	0,794	0,073	Aucun	Aucun
	FDCL		0,937	0,645		
	FSRP		0,904	0,432		
	FSRL		0,718	0,015		
R	FDCP	Aucun	0,879	0,304	4,399	0,221
	FDCL		0,899	0,407		
	FSRP		0,888	0,347		
	FSRL		0,937	0,646		
Hm (dm)	FDCP	Aucun	0,906	0,447	3,273	0,351
	FDCL		0,930	0,594		
	FSRP		0,959	0,804		
	FSRL		0,976	0,914		
D.100m <sup>-2</sup>	FDCP	Log (D)	0,980	0,935	4,449	0,217
	FDCL		0,980	0,933		
	FSRP		0,867	0,254		
	FSRL		0,925	0,559		
DI.100m <sup>-2</sup>	FDCP	Log (DI + 10)	0,689	0,007	Aucun	Aucun
	FDCL		0,800	0,081		
	FSRP		0,805	0,089		
	FSRL		0,857	0,216		

**FDCL** : fourré sur dalle calcaire, loin des villages ; **FDCP** : fourré sur dalle calcaire, proche des villages ;

**FSRL** : fourré sur sable roux, loin des villages ; **FSRP** : fourré sur sable roux, proche des villages ; **S** : richesse spécifique ; **R** : indice de régularité ; **D** : densité ; **DI** : densité de lianes ; **Log** : logarithme à base 10.