

DK548848

BA_TH 1654



Unité de Service Enseignement
et Formation en Elevage
Campus de Baillarguet
TA A-71 / B
34 398 MONTPELLIER Cedex 5



Université Montpellier II
UFR - Fac de Sciences
Place Eugène Bataillon
34 095 MONTPELLIER Cedex 5

MASTER

BIOLOGIE GEOSCIENCES AGRORESSOURCES ENVIRONNEMENT
SPECIALITE ECOLOGIE FONCTIONNELLE ET DEVELOPPEMENT DURABLE
PARCOURS ELEVAGE DES PAYS DU SUD :
ENVIRONNEMENT, DEVELOPPEMENT

RAPPORT DE STAGE DE SECONDE ANNEE

TYPOLOGIE ET CARTOGRAPHIE DE LA VEGETATION DE LA RESERVE NATIONALE DE GILE (MOZAMBIQUE): ETUDE PREALABLE A LA REINTRODUCTION DE GRANDS MAMMIFERES

Présenté par

Thomas PRIN

Réalisé sous la direction de : Philippe Chardonnet

Organisme et pays : Fondation IGF, Mozambique

Période du stage : du 9 avril au 9 septembre 2008

Date de soutenance : 26 septembre 2008



Année universitaire 2007-2008

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet



000098335

RESUME

Cette étude avait pour objectifs la cartographie de la typologie des différentes unités de végétation de la Réserve Nationale de Gilé (Mozambique) ainsi que l'identification des différents types d'occupation des sols. L'étude se concentre principalement sur la typologie des peuplements ligneux des forêts de type *miombo*. Cette mission s'inscrivait dans l'étude préalable à la réintroduction de grands mammifères.

L'échantillon était constitué de 39 placettes circulaires de 804 m² dans lesquelles de nombreuses mesures étaient effectuées. Ces données ont permis d'identifier près de 70 espèces ligneuses et 10 espèces de graminées. *Brachystegia boehmii*, *Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia globiflora*, *Diplorhynchus condylocarpon* et *Dalbergia nitidula* sont les espèces dominantes des peuplements ligneux. *Themeda triandra* est la graminée prédominante et présente un fort potentiel fourrager. L'analyse statistique a permis d'identifier 4 types de *miombo* allant de la savane arborée à la savane boisée. La zone présente, pour les ligneux, une densité moyenne de 430 ind/ha, une hauteur et un diamètre moyen respectivement de 8,6 m et 14,7 cm, une surface terrière de 11,9 m²/ha et un recouvrement de la canopée de 73 %.

A partir d'une image satellite Aster, les différents types d'occupation des sols ont été cartographiés. Malgré l'homogénéité de la végétation, plusieurs types sont nettement identifiés, qu'il s'agisse du *miombo*, des zones très claires ou encore de l'hydrographie.

Cette carte est une première étape vers une cartographie complète de la zone. Après une confirmation sur le terrain, elle est promise à des améliorations et constitue les premiers éléments de base nécessaires afin de suivre l'évolution de la végétation au cours du temps, notamment après des réintroductions.

MOTS CLES : *miombo* ; cartographie ; image satellite ; typologie ; réintroduction ; végétation ; Mozambique

ABSTRACT

This study's main goal was the typology's cartography of the different units of vegetation in the National Reserve of Gile (Mozambique) as well as the identification of the different types of soils covering. The study primarily concentrates on the *miombo* woodland trees populations. The latter accomplishment was in line with a previous study of the large mammals' reintroduction.

The sample constituted of 39 circular plots of 804 m² in which numerous measurements were conducted. These data enabled the identification of merely 70 woody species and 10 Gramineae species. *Brachystegia boehmii*, *Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia globiflora*, *Diplorhynchus condylocarpon* and *Dalbergia nitidula* are the dominant species of the woody populations. *Themeda triandra* is the predominant Gramineae specie and presents a strong foraging potential. The statistical analysis provided the ability to identify four types of *miombo* spreading from the dense savana woodland to the closed savana woodland. The area offers, when it comes to the woody species, an average tree density of 430 ind/ha, an average height and diameter of respectively 8.6 m and 14.7 cm, a basal area of 11.9 m²/ha and a 73% canopy cover.

A cartography of the different types of soils covering got created using an Aster satellite image. In spite of the vegetation's homogeneity, several types were distinctly identified, whether it was the *miombo*, particularly open area or the hydrography.

This map is the first step toward a complete cartography of the area. Following a confirmation in the field, the map is subject to improvement and constitutes the first necessary basic components in order to follow the vegetation's evolution along the ages especially after new reintroductions.

KEY-WORDS : *miombo* ; cartography ; satellite image ; typology ; reintroduction ; vegetation ; Mozambique

SOMMAIRE

RESUME ET MOTS CLES
ABSTRACT AND KEY-WORDS
REMERCIEMENTS
ABREVIATIONS

INTRODUCTION

1) PRESENTATION DU SITE

- 1.1) Contexte
- 1.2) Localisation géographique
- 1.3) Climat
- 1.4) Paysage
- 1.5) Végétation

2) MATERIELS ET METHODES

- 2.1) L'image satellite
 - 2.1.1) Choix de l'image et disponibilité
 - 2.1.2) Traitement préalable
- 2.2) Organisation de l'étude
- 2.3) Protocole des relevés
- 2.4) Analyse des données
 - 2.4.1) Analyse globale
 - 2.4.2) Analyse floristique
 - 2.4.3) Analyse de l'image

3) RESULTATS

- 3.1) Composition floristique et structure du couvert herbacé
- 3.2) Structure des peuplements ligneux
 - 3.2.1) Densité par hectare
 - 3.2.2) Hauteur moyenne
 - 3.2.3) Diamètre moyen
 - 3.2.4) Surface terrière
 - 3.2.5) Couvert arboré
- 3.3) Classification hiérarchique ascendante (CHA)
- 3.4) Classification du PVI
- 3.5) Cartographie de l'occupation des sols
 - 3.5.1) La forêt de type *miombo*
 - 3.5.2) Autres types d'occupation des sols

4) DISCUSSION

- 4.1) L'image satellite
- 4.2) Protocole des relevés
- 4.3) Analyse des données
- 4.4) Cartographie
- 4.5) Les réintroductions

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE
ANNEXES

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier le Docteur Philippe Chardonnet, Directeur de la Fondation IGF, Monsieur Hubert Boulet, Directeur adjoint, et le Docteur François Lamarque, Responsable des programmes, pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce stage et pour leur aide et leurs conseils tout au long de cette étude.

Je remercie Monsieur Amandio Nkavandu, administrateur de la Réserve Nationale de Gilé, pour son accueil chaleureux, l'intérêt qu'il portait à cette étude, et son aide lors de mes différents déplacements.

Les gardes de la Réserve Nationale de Gilé m'ont fourni une aide inestimable, notamment Abrão Rosário et Calixto Vicente José qui ont accompagné mes premières journées de terrain. Je remercie tout particulièrement Carvalho Carlo Nabuino, gardien du camp de Musseia, ainsi que les deux « vieux » du village de Musseia, Antonio et Martin, avec lesquels j'ai passé la majeure partie du temps en brousse. Leurs connaissances du terrain, leurs expériences, leur patience (notamment pour mon apprentissage du portugais) sont autant de points qui ont fait de cette étude une expérience inoubliable.

Je remercie tout particulièrement Monsieur Pierre Poilecot, écologiste du CIRAD, qui a, dès le début de mon stage, partagé avec moi sa longue expérience des relevés de végétation et qui m'a aidé à élaborer mes protocoles. Dès mon retour en France, nous avons passé de nombreuses heures ensemble afin de déterminer la centaine d'échantillons botaniques que j'avais ramenés. Merci également pour son aide lors de l'interprétation des résultats.

Sans la participation de Monsieur Slim Saïdi, écologue, la cartographie et l'analyse statistique des données n'auraient pas été possible. Merci.

Je souhaite remercier le Docteur Pierre-Cyril Renaud qui a quitté la France expressément pour me retrouver dans la Réserve, lorsque je me trouvais confronté à des problèmes de transport. Sans son aide, je n'aurais pas pu terminer ce travail dans les temps.

Merci à Alessandro Fusari, Conseillé Technique pour le Ministère du Tourisme du Mozambique, pour son accueil chaleureux lors de mes deux passages à Maputo.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au plaisir que j'ai eu à passer ces deux mois au Mozambique.

ABREVIATIONS

RNG	Réserve Nationale de Gilé
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
PVI	Perpendicular Vegetation Index
CHA	Classification Hiérarchique Ascendante

INTRODUCTION

Dans le cadre du protocole d'accord pour la cogestion de la Réserve Nationale de Gilé (RNG), signé entre le Ministère du Tourisme du Mozambique et la Fondation Internationale pour la Gestion de la Faune (Fondation IGF), plusieurs études ont été entreprises afin de mener à bien cette mission.

La réalisation d'une carte de végétation de la zone était indispensable pour approfondir les connaissances sur les peuplements ligneux et herbacés de la RNG.

La mise en place de cette étude n'avait pas un objectif purement académique. En effet, un des objectifs clés de la Fondation IGF est la réintroduction de grands mammifères disparus de la RNG, notamment celles du Zèbre de Burchell (*Equus burchellii*) et du Gnou à queue noire (*Connochaetes taurinus*), ou encore le renforcement des populations du Buffle d'Afrique (*Syncerus caffer*).

Afin de respecter les Lignes Directrices relatives aux Réintroductions (1998) établies par l'Union Mondiale pour la Nature (IUCN), une évaluation du site de réintroduction est nécessaire avant la mise en place de tels programmes. Une carte de la végétation est un élément de base de cette évaluation.

Une carte de la végétation est un outil de gestion. Ses utilisations sont multiples, qu'il s'agisse de la création d'un réseau de pistes, de la gestion des feux, ou encore, dans le cas de réintroductions, de l'évaluation de la qualité de l'habitat ou du choix des sites de lâcher. De plus, il s'agit d'un outil indispensable à la conduite de n'importe quelle étude écologique de la faune.

L'utilisation d'images satellites offre aujourd'hui des possibilités de travail importantes, notamment pour la réalisation de carte de la végétation à grande échelle.

Les objectifs de cette étude sont la cartographie de la typologie (composition et structure) des différentes unités de végétation de la RNG ainsi que l'identification des différents types d'occupation des sols. L'étude se concentre principalement sur la typologie des peuplements ligneux des forêts claires de type *miombo*.

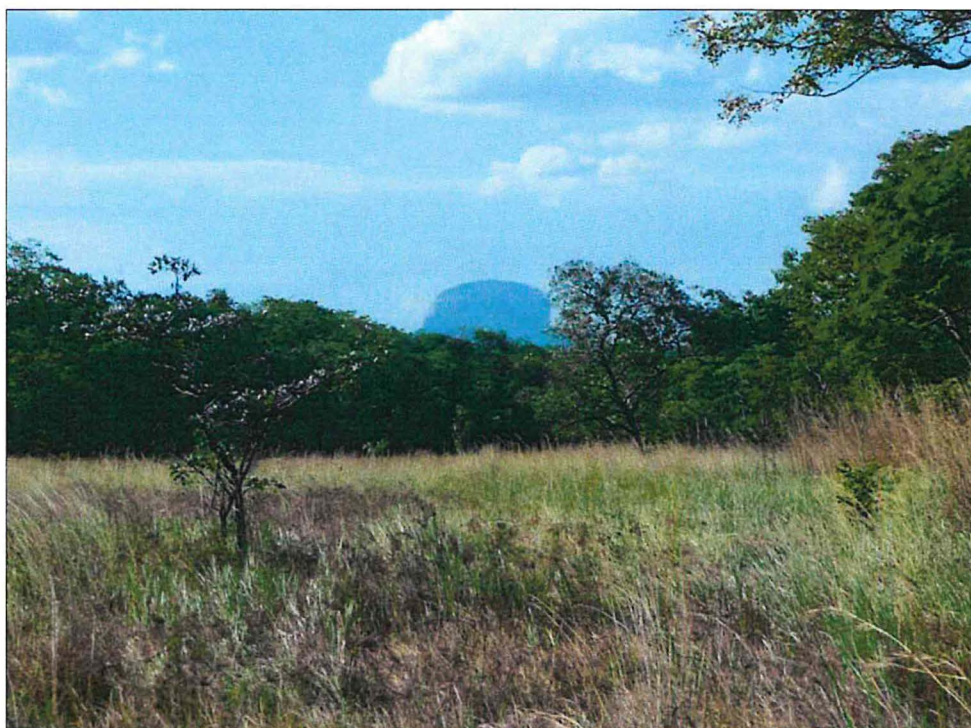


Photo 1 : paysage de la Réserve Nationale de Gilé

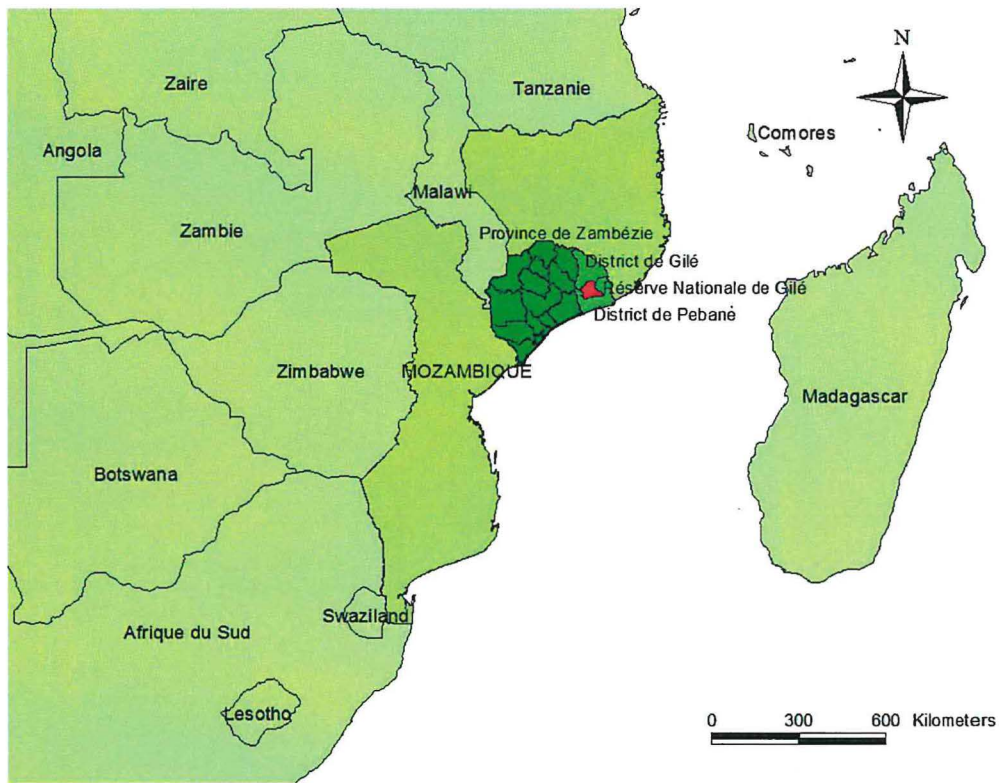


Figure 1 : localisation de la zone d'étude

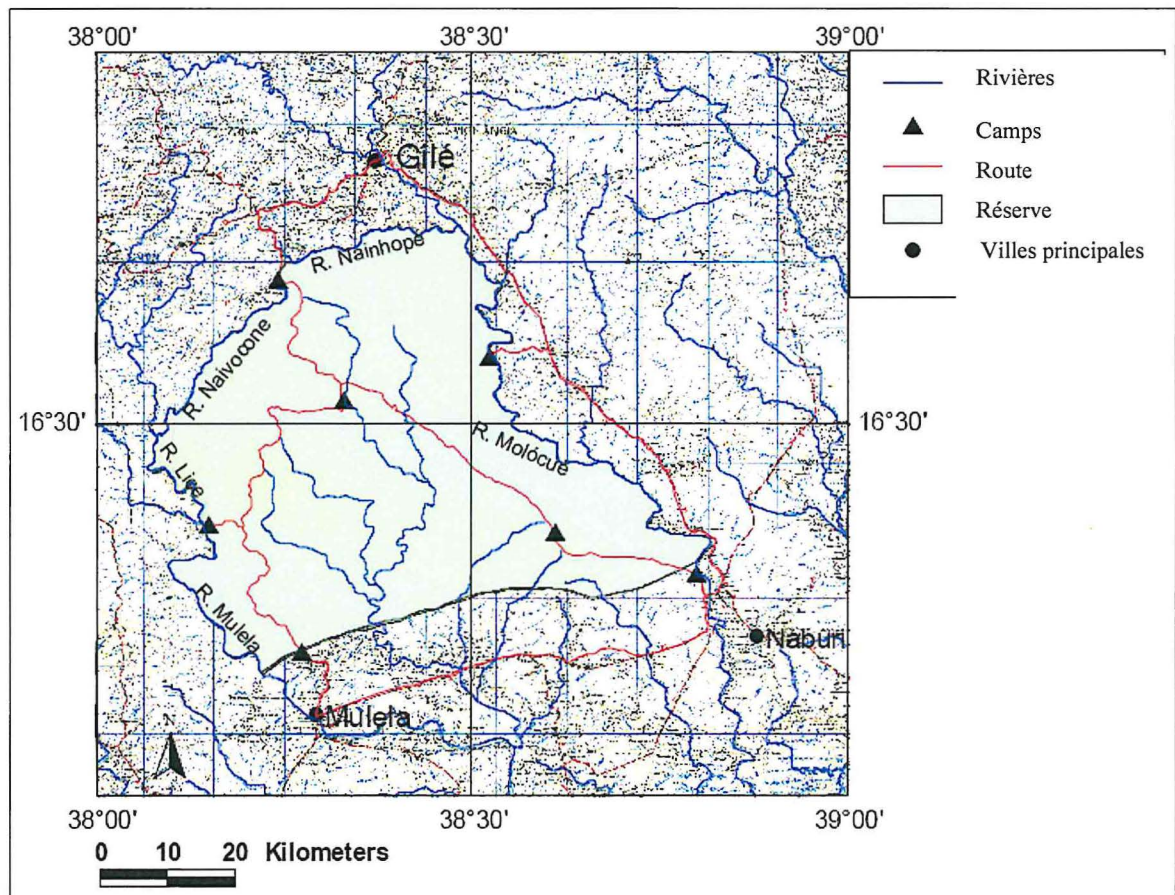


Figure 2 : limites géographiques de la RNG

1) PRESENTATION DU SITE

1.1) Contexte

En juin 2007, le Ministre du Tourisme, son Excellence Fernando Sumbana, et le Directeur de la Fondation Internationale pour la Gestion de la Faune (Fondation IGF), Monsieur Philippe Chardonnet, ont signé un protocole d'accord pour la cogestion de la Réserve Nationale de Gilé (RNG) (Boulet & Lamarque, 2007).

Suite à cette signature, plusieurs missions d'évaluation ont été entreprises : une étude socio-économique de la périphérie et un inventaire de la faune. La dernière évaluation, que constitue le présent rapport, est la cartographie de la typologie de la végétation de la RNG.

Ces différentes missions sont nécessaires à la réalisation d'actions concrètes pour la RNG, comme la réintroduction d'espèces animales sauvages, qui est une des actions prioritaires de la Fondation IGF.

1.2) Localisation géographique

La RNG est la seule aire protégée de la Province de Zambézie. Elle couvre une zone de 2 800 km² entre les Districts de Pebane et Gilé, dans le nord-est de la Province (Figure 1). Elle se situe entre 16°14'45" et 16°50'30" de latitude et entre 38°05'38" et 38°48'45" de longitude.

Plusieurs rivières constituent les limites de la RNG dans les parties Nord, Est et Ouest : Nanhope au Nord, Molocué à l'Est, Naivocone, Lice et Mulela à l'Ouest. Il n'existe pas, à l'heure actuelle, de frontière géographique pour la zone Sud de la réserve. La limite a été établie administrativement en traçant une ligne parallèle à la route qui rejoint les localités de Mualama et Nova Naburi (Figure 2).

1.3) Climat

Le climat de la RNG se situe dans la zone tropicale à pluies estivales de Walter (White, 1983), avec une saison des pluies bien définie, entre novembre et avril, et une saison sèche entre mai et octobre.

La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 800 et 1000 mm (Figure 3).

Les températures varient substantiellement pendant la saison sèche, de 13°C (moyenne minimum en juin) à 37,5°C (moyenne maximum en octobre), ce qui permet de distinguer une « saison sèche froide » entre mai et août et une « saison sèche chaude » entre septembre et octobre (Fusari & Cumbane, 2002). Les variations de température pendant la saison des pluies sont moins marquées.

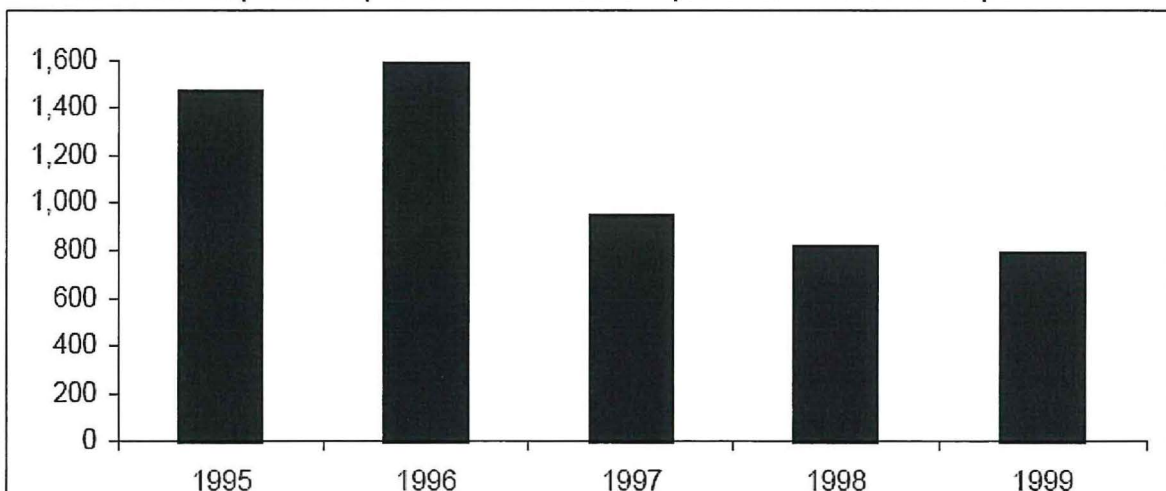


Figure 3 : précipitations annuelles dans le District de Gilé entre 1995 et 1999

1.4) Paysage

D'un point de vue topographique, la RNG est caractérisée par une plaine déclinant en douceur vers le Sud. Les altitudes sont comprises entre 100 et 200 mètres au dessus du niveau de la mer.

Il existe plusieurs affleurements granitiques, appelés *inselberg*, qui émergent de la forêt (Photo 1 en arrière plan).

Les cinq *inselbergs* les plus élevés sont : Namirue (434 m), Nachipe (340 m), Mucocha (332 m), Mussirima (332 m) et Pope (265 m).

La zone présente un système de drainage complexe constitué par trois cours d'eau principaux et par de nombreux ruisseaux, certains en eau toute l'année, d'autres simplement saisonniers. Les trois principaux cours d'eau sont la rivière Mulela, qui s'écoule le long de la frontière Ouest, la rivière Molocué, qui s'écoule le long de la frontière Est, et la rivière Malema, au milieu de la RNG. D'autres cours d'eau permanents ont un débit plus réduit durant la saison sèche, comme Naicovone dans le Nord, Muipige dans le Sud et Nakololo au centre.

1.5) Végétation

Comme définie par White (1983), la RNG appartient à la région floristique du centre régional d'endémisme zambézien et présente une unité cartographique de végétation de type 26 : « Forêt claire zambézienne sèche de type miombo ».

Le paysage de la RNG est constitué d'une mosaïque entre forêts claires de type *miombo* et prairies de type *dambo*. Les *dambos* sont des prairies édaphiques souvent inondées en saison des pluies et où le sol a tendance à être acide (Chidumayo, 1997).

Le *miombo* est le type de végétation le plus important du centre régional d'endémisme zambézien et présente, en terme de structure et de composition, un large nombre de types différents (SADC, IUCN, SARDC, 2000 ; White, 1983). Il est dominé par des arbres à feuilles caduques de la famille des Légumineuses, notamment les genres *Brachystegia*, *Julbernardia* et/ou *Isoberlinia* (Campbell, 1996 ; Chidumayo, 1997 ; Poilecot, 2007). Les sols les plus caractéristiques du *miombo* sont lessivés et acides (White, 1983).

Le feu est un des caractères écologiques les plus importants concernant les forêts claires de type *miombo* (Fusari & Cumbane, 2002). A partir des observations des précédentes missions (Boulet & Lamarque, 2007 ; Fusari & Cumbane, 2002 ; Mésochina, 2008) et des dires des populations locales, la quasi totalité de la RNG brûle, notamment fin-septembre.

2) MATERIELS ET METHODES

2.1) L'image satellite

2.1.1) Choix de l'image et disponibilité

Le choix de l'image a été dicté par trois éléments principaux :

- le coût d'acquisition qui conditionne la mise en œuvre de la ou les méthodes applicatives et leur répétitivité dans le temps,
- la résolution spatiale qui détermine la taille du plus petit élément détectable,
- la date de prise de vue qui rend compte de l'état de la végétation et sa réponse aux radiations solaires.

L'image satellite utilisée pour mener à bien cette étude a été achetée à partir du site *Global Visualisation Viewer* de l'USGS (*United States Geological Survey*), département EROS (*Earth Resources Observation and Science Center*). USGS propose un large choix d'images satellites. A partir des différentes collections disponibles, pour effectuer une typologie de la végétation, notre choix se portait entre une image de type Landsat 4-5 TM et une image de type Aster VNIR. La différence principale entre ces deux types d'images, outre le fait qu'elles sont prises à partir de deux satellites distincts, se trouve au niveau de la résolution. Une image Landsat 4-5 TM a une résolution de 30 m et une image Aster VNIR de 15 m, c'est à dire que chaque pixel de l'image correspond respectivement à un carré de 30 m sur 30 m ou à un carré de 15 m sur 15 m.

En fonction de la localisation géographique de la RNG et des dates de captures des différentes images, notre choix s'est porté sur une image de type Aster VNIR.

Cette image ne couvre pas l'intégralité de la RNG (Figure 4 ; 15 % de la superficie totale de la RNG manquants) mais elle constitue le meilleur compromis en fonction des objectifs de l'étude.

Elle a été capturée le 12 septembre 2006, c'est à dire en fin de saison sèche.

Les caractéristiques de l'image sont présentées en Annexe 4.

2.1.2) Traitement préalable

Pour discriminer les différents types d'occupation du sol à partir d'une image satellite, les valeurs des pixels sont combinées sur deux des canaux de l'image d'origine afin de générer une nouvelle image.

Pour cartographier les sols nus ainsi que les zones peu couvertes par la végétation, un indice de végétation est établi. Il s'agit du PVI (*Perpendicular Vegetation Index*) (Richardson *et al.*, 1977). Cet indice est le produit d'une transformation réalisée à partir de deux des canaux, le rouge et le proche infrarouge, la végétation ayant des propriétés spécifiques dans ces parties du spectre. En effet, la végétation réfléchit fortement dans le proche infrarouge et absorbe fortement dans la portion du spectre électromagnétique du rouge visible. Les autres types de surface, comme la terre et l'eau, ont des réflexivités presque égales dans ces deux zones du spectre.

La valeur des pixels de cette nouvelle image (l'image PVI) est relative à la biomasse végétale. De ce fait, cette image est désignée sous le terme d'indice de végétation.

Cet indice prend en compte le poids de la réflectance des sols nus par rapport à la réflectance de la végétation. La réflectance est ici le rapport entre l'énergie solaire

réfléchi et l'énergie solaire incidente sur une surface. Une réflectance de 100% signifie que la surface en question réfléchit toute l'énergie solaire dans l'atmosphère et n'en absorbe aucune fraction. La formule de la réflectance est la suivante :

$$P_p = (\pi * L_\lambda * d^2) / (ESUN_\lambda * \cos\theta_s)$$

P_p = Unit less planetary reflectance
 L_λ = Luminance (Spectral radiance at sensor)
 d = Earth – Sun distance
 $ESUN_\lambda$ = Mean Solar exoatmospheric irradiance
 θ_s = Solar zenith angle in degrees

Le calcul de cet indice minimise l'effet du sol et par conséquent donne une meilleure discrimination de la végétation. Le PVI s'exprime par l'équation suivante:

$$PVI = \frac{(PIR - aR - b)}{\sqrt{a^2 + 1}}$$

Le PVI est un calcul de distance euclidienne dans le plan Rouge / Proche Infrarouge [RED, PIR] entre un point et une droite, avec :

a = pente de la droite des sols,
 b = ordonnée de la droite des sols.

Un PVI > 0 signifie que le pixel est recouvert par la végétation.

Un PVI = 0 correspond aux pixels de sols nus.

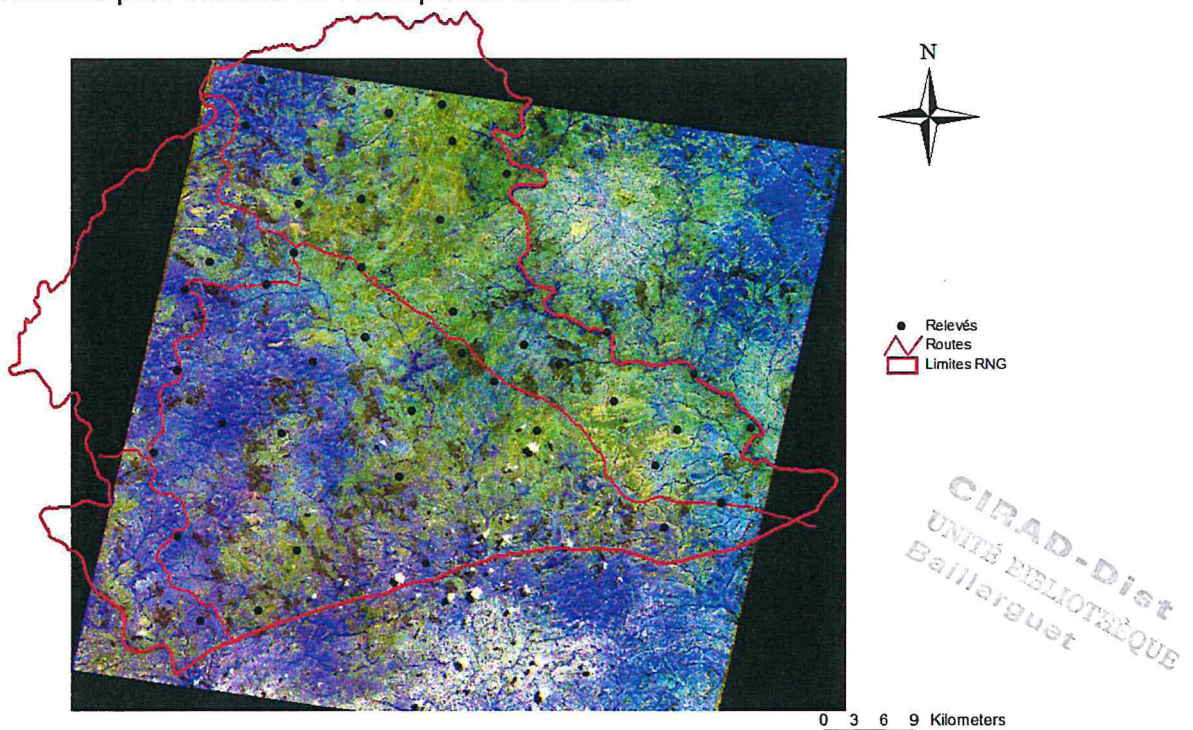
Un PVI < 0 survient surtout pour les surfaces en eau de très faible teneur minérale ou chlorophyllienne.

A partir des données de terrain, le PVI est classifié par l'examen d'une matrice de confusion.

A partir de cette nouvelle image, 43 points ont été géo-référencés et ils ont constitué la base des relevés à effectuer sur le terrain (Figure 4).

Malheureusement, aucune carte pédologique précise de la zone n'était disponible. Ce type de carte, couplée à une image satellite, permet d'effectuer une discrimination plus efficace de l'occupation des sols.

Figure 4 :
carte des
positions
des relevés
de terrain
sur l'image
satellite



2.2) Organisation de l'étude

Deux mois ont été passés sur la RNG (juin – juillet).

Compte tenu de l'importante surface de la RNG (2 800 km²) et du faible réseau de pistes (autour de 170 km), la majorité des déplacements s'effectuait à pied.

L'équipe était composée de trois personnes : un pisteur ayant une bonne connaissance des espèces végétales de la zone, un garde (*fiscai* en portugais) et un observateur.

Le travail de terrain était organisé en sessions de deux à quatre jours pendant lesquels l'équipe vivait en complète autonomie.

2.3) Protocole des relevés

Comme nous l'avons vu précédemment, 43 positions ont été géo-référencées à partir de l'image satellite. Les positions étaient atteintes à l'aide d'un système de Géopositionnement par Satellite (GPS).

A chaque position, une placette circulaire de 804 m² (16 m de rayon) était délimitée à l'aide d'un double décimètre (Photo 2.1). Plusieurs photos de la zone dans sa globalité étaient prises.

Au sein de chaque placette, les données suivantes étaient relevées :

- Pour les ligneux de hauteur ≥ 1 m ou de diamètre ≥ 2 cm :

- Espèce
- Circonférence en cm
- Hauteur en m
- Diamètre du houppier en m
- Toutes les espèces visibles sur la zone (mais pas nécessairement présentes dans le cercle)

- Pour les herbacées :

- Estimation du recouvrement total en %
- Espèces dominantes
- Hauteur en cm
- Estimation de la proportion des espèces en %

- Autres :

- Numéro de la placette
- Coordonnées géographiques de la placette
- Observateur
- Date
- Numéros des photos
- Numéro d'herbier
- Passage du feu dans l'année précédente

La feuille de collecte de données de terrain est présentée en Annexe 1.

En fonction de la densité de la végétation, il était nécessaire de compter entre une et deux heures pour effectuer un relevé.



Photos : 2.1) Délimitation du cercle de 16 m de rayon
 2.2) Mesure de la circonférence
 2.3) Estimation de la hauteur

Toutes les espèces rencontrées (ligneuses et herbacées) ont été prélevées afin de constituer un herbier et de valider les déterminations de terrain.

Pour mesurer le diamètre d'un arbre, le moyen standard est le diamètre à hauteur de poitrine (dbh : *diameter at breast height*) (White & Edwards, 2000). En réalité, nous mesurons la circonférence de l'arbre (Photo 2.2). Il faut transformer cette valeur pour obtenir le diamètre. A partir d'un diamètre nous pouvons calculer la surface terrière équivalente à la surface de la section transversale du tronc.

La hauteur des ligneux était estimée à l'aide d'une photo numérique avec échelle (Photo 2.3).

La surface du houppier était calculée à partir des mesures de 2 diamètres. Deux hommes se plaçaient aux tangentes du houppier (Photo 2.4). Un premier diamètre était mesuré. La même opération était répétée perpendiculairement. A partir de la moyenne de ces 2 diamètres la surface du houppier était calculée. Lorsqu'un arbre se trouvait dans le cercle mais que la majorité de la surface de son houppier se trouvait à l'extérieur, seuls la hauteur et le diamètre de l'arbre étaient mesurés. Inversement, si le houppier d'un arbre se trouvait dans le cercle mais que son pied était à l'extérieur, seule la surface du houppier était mesurée. De ce fait, les calculs du recouvrement de la canopée et de la densité étaient précisés.

Remarque 1 : lors des différents déplacements toutes les zones présentant un intérêt cartographique (*inselbergs*, rivières, points d'eau, ...) étaient géo-référencées.

Remarque 2 : lors des différents déplacements tous les contacts directs avec la faune sauvage étaient géo-référencés et quelques données de base étaient notées (espèce, nombre d'individus, sex-ratio, activité, ...). Ces données sont présentées en Annexe 5.



Photo 2.4 : mesure de la surface du houppier

2.4) Analyse des données

2.4.1) Analyse globale

A partir des différentes données collectées, une première analyse concerne la structure et la composition floristique générales des peuplements de la RNG :

- la hauteur moyenne des ligneux,
- le diamètre moyen des ligneux,
- la densité moyenne des ligneux,
- le recouvrement moyen des houppiers,
- le recouvrement moyen des surfaces terrières.

Au niveau de la composition de la végétation, après avoir déterminé les différentes espèces ligneuses rencontrées, la contribution spécifique de chacune est calculée. De même, les principales espèces herbacées sont déterminées, ainsi que leur hauteur moyenne et l'estimation de la densité du couvert.

2.4.2) Analyse floristique

Une matrice globale à double entrée reliant les espèces ligneuses et les relevés a été construite à partir des relevés de végétation exécutés sur le terrain (en ligne, les espèces et en colonne les relevés).

Cette matrice a été soumise à une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) dont le principe est que les individus (qui correspondent aux relevés) sont regroupés progressivement selon leur degré de ressemblance (variable espèces) jusqu'à l'obtention de classes. Le critère d'agrégation de ces individus consiste à rechercher une partition telle que la variance interne des classes est minimum alors que la variance externe est maximum. Le résultat final est sous forme de classes de relevés regroupés en fonction de leur affinité floristique.

Pour chaque classe d'individus trois indicateurs sont retenus. Il s'agit de l'indice de niveau, de l'indice de spécificité et du pourcentage de représentativité (contribution) :

- l'indice de niveau d'une classe (q) est une mesure indirecte de la variance interclasse. C'est la distance moyenne mesurée à partir des centres de gravité des nuages de points qui constituent les classes. Plus cet indice est important mieux la classe est discriminée. Cependant, les classes ayant des indices proches ou similaires ont tendance à se confondre,
- l'indice de spécificité (Rho_2) est le carré de la distance entre le centre de gravité du nuage de point d'une classe (q) et celui de la matrice de donnée. Cet indice est un indicateur complémentaire du précédent,
- le pourcentage de représentativité (contribution des variables) est donné pour chaque classe. Il s'agit des niveaux de contribution des espèces de la matrice dans chaque classe retenue.

A partir des contributions des variables, un histogramme est alors calculé. En abscisse les espèces et en ordonnées les contributions floristiques :

- si % > 0, les contributions floristiques sont significatives pour la discrimination de la classe (q),
- si % < 0, les contributions floristiques sont peu ou pas significatives et donc non discriminantes pour la classe (q), ces espèces n'ont pas d'affinité particulière pour cette classe.

2.4.3) Analyse de l'image

Le traitement de l'image Aster consiste à réaliser une classification supervisée sur le PVI à partir des relevés de terrain, selon la méthode dite du maximum de vraisemblance, laquelle s'appuie sur un modèle probabiliste. Cette classification est réalisée sur la base d'une mise en correspondance des valeurs des recouvrements des relevés avec la valeur radiométrique des pixels à l'emplacement des relevés (sachant que la valeur des pixels du PVI est proportionnelle à l'activité chlorophyllienne).

La classe de pixels des sols nus et celle des zones très peu couvertes, identifiées préalablement sur le PVI, sont extraites. Ceci permet de réduire l'hétérogénéité spatiale de l'image satellite.

Pour chaque groupement (classe floristique) de végétation identifié, seuls les relevés les plus représentatifs sont utilisés pour la mise en correspondance (le critère de représentativité étant le recouvrement de la canopée des espèces dominantes). Cette mise en correspondance forme un nuage de points dans le plan « recouvrement/radiométrie ». Ensuite, nous classons les pixels de l'image qui ont des valeurs radiométriques proches (maximum de vraisemblance).

3) RESULTATS

Les observations de terrain nous ont conduit à supprimer 4 placettes, pour l'analyse des ligneux, et 2 placettes, pour l'analyse des herbacées, des 43 positions géo-référencées initialement à partir de l'image satellite. Ces emplacements pouvaient être des *dambos*, des rivières, des forêts riveraines... Les objectifs de l'étude étant concentrés sur la forêt claire de type *miombo*, l'échantillon définitif, pour les ligneux, comprenait 39 placettes et représentait une surface de 3,1 ha.

3.1) Composition floristique et structure du couvert herbeux

Les différents relevés ont permis d'identifier 68 espèces ligneuses (représentées par 1 349 individus) (Annexe 2) et 16 espèces d'herbacées (Annexe 3).

A partir de six ouvrages (Coates Palgrave, 2002 ; Koning, 1993 ; Lebrun, 1991-1997 ; Poilecot, 2007 ; Van Oudtshoorn, 2006 ; Van Wyk & Van Wyk, 1997) les différentes espèces ont été prédéterminées sur le terrain. Un herbier comprenant toutes les espèces rencontrées (ligneuses et herbacées) a été constitué ainsi qu'une collection photographique (lorsque cela était possible, des fruits et des fleurs). Afin de confirmer les identifications initiales, tous les échantillons de l'herbier ont été analysés par un botaniste, de retour en France.

Parmi les 68 espèces ligneuses et les 16 espèces herbacées prélevées, respectivement 9 et 6 spécimens n'ont pas pu être déterminés. Pour les herbacées, à cette période (juin – juillet), nous étions malheureusement en fin de cycle. Sans l'inflorescence, il est très difficile de déterminer un échantillon. Le genre a parfois pu être identifié.

Brachystegia boehmii, *Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia globiflora*, *Pterocarpus angolensis*, *Diplorhynchus condylocarpon*, *Parinari curatellifolia* et *Dalbergia nitidula* interviennent pour plus de 54 % dans la contribution spécifique (Tableau 1).

Ces espèces sont caractéristiques de la forêt claire zambézienne sèche de type *miombo* (White, 1983).

Les autres espèces les plus abondantes, ayant une contribution spécifique ≥ 1 %, comprennent ensuite *Annona senegalensis*, *Burkea africana*, *Erythrophleum africanum*, *Hymenocardia acida*, *Combretum adenogonium*, *Pterocarpus rotundifolius*, *Uapaca nitida*, *Millettia stuhlmannii*, *Pericopsis angolensis*, « Mutolo », *Pseudolachnostylis maprouneifolia*, *Hugonia orientalis*, *Swartzia madagascariensis*, *Byrsocarpus orientalis*, *Pteleopsis myrtifolia*, *Terminalia sericea* et *Ozoroa obovata*.

La composition floristique des ligneux apparaît donc comme riche et diversifiée au sein de la RNG.

Pour ce qui est du couvert herbacé, nous nous sommes intéressés aux composants graminéens. *Themeda triandra* est apparue dans 63 % des relevés et y était dominante dans 85 % des cas. Elle était dans 80 % des cas associée à « Mupacara » (nom vernaculaire, Elomwé). D'autres espèces comme *Diheteropogon amplexans*, *Hyparrhenia* sp. et *Andropogon* sp. étaient généralement associées à *Themeda triandra*, mais pouvaient être dominantes dans certaines zones.

Leptochloa uniflora, *Loudetia arundinacea* et *Pennisetum unisetum* étaient parfois dominantes (10 % des relevés).

Ces graminées, de hauteur moyenne comprise entre 1,5 et 2 m, formaient un couvert dense (dans plus de 70 % des relevés, les estimations de recouvrement étaient

comprises entre 75 et 100 %).

Comme définis par Rattray (1960), les tapis graminéens de ce type accompagnent une forêt claire de densité variable, le plus souvent à *Brachystegia* et *Julbernardia*, ce qui correspond bien à notre zone d'étude.

Themeda triandra, qui semble être l'espèce prédominante de la RNG, est une espèce ubiquiste qui s'accommode de conditions édaphiques et climatiques très diverses. L'abondance de cette espèce et sa bonne valeur fourragère conduit à un pâturage d'excellente qualité (Van Oudtshoorn, 2006) qui est un point positif en vue de futures réintroductions d'herbivores dans la RNG.

Tableau 1 : fréquence (n) et contribution (%) des espèces végétales dans la RNG

Espèce	f	Cs	Espèce	f	Cs	Espèce	f	Cs
<i>Diplorhynchus condylocarpon</i>	148	13,02	<i>Pteleopsis myrtifolia</i>	15	1,32	<i>Piliostigma thorningii</i>	3	0,26
<i>Brachystegia boehmii</i>	139	12,23	<i>Terminalia sericea</i>	15	1,32	<i>Strychnos spinosa</i>	3	0,26
<i>Julbernardia globiflora</i>	124	10,91	<i>Ozoroa obovata</i>	14	1,23	<i>Uapaca kirkiana</i>	3	0,26
<i>Dalbergia nitidula</i>	115	10,11	<i>Cacatxé</i>	13	1,14	<i>Vitex payos</i>	3	0,26
<i>Brachystegia spiciformis</i>	83	7,30	<i>Drypetes natalensis</i>	13	1,14	<i>Albizia versicolor</i>	2	0,18
<i>Parinari curatellifolia</i>	73	6,42	<i>Lannea schimperi</i>	12	1,06	<i>Brackenridgea zanguebarica</i>	2	0,18
<i>Pterocarpus angolensis</i>	55	4,84	<i>Xylopia aethiopica</i>	12	1,06	<i>Bridelia micrantha</i>	2	0,18
<i>Annona senegalensis</i>	54	4,75	<i>Strychnos madagascariensis</i>	10	0,88	<i>Mundulea sericea</i>	2	0,18
<i>Burkea africana</i>	51	4,49	<i>Xymeria americana</i>	10	0,88	<i>Sterculia quinqueloba</i>	2	0,18
<i>Erythrophleum africanum</i>	37	3,25	<i>Crossopteryx febrifuga</i>	9	0,79	<i>Strychnos cocculoides</i>	2	0,18
<i>Hymenocardia acida</i>	36	3,17	<i>Albizia adianthifolia</i>	9	0,79	<i>Vangueria infausta</i>	2	0,18
<i>Combretum adenogonium</i>	32	2,81	<i>Diospyros kirkii</i>	8	0,70	<i>Amblygonocarpus andongensis</i>	1	0,09
<i>Pterocarpus rotundifolius</i>	30	2,64	<i>Nrepo-nalipa-otota</i>	6	0,53	<i>Dichrostachys cinerea</i>	1	0,09
<i>Uapaca nitida</i>	30	2,64	<i>Sclerocarya birrea</i>	5	0,44	<i>Flacourtia indica</i>	1	0,09
<i>Millettia stuhlmannii</i>	23	2,02	<i>Bridelia cathartica</i>	5	0,44	<i>Gardenia volkensii</i>	1	0,09
<i>Pericopsis angolensis</i>	21	1,85	<i>Acacia nilotica</i>	4	0,35	<i>Markhamia zanzibarica</i>	1	0,09
<i>Mutolo</i>	20	1,76	<i>Catunaregam spinosa</i>	4	0,35	<i>Nassouca</i>	1	0,09
<i>Pseudolachnostylis maprouneifolia</i>	18	1,58	<i>Cassia petersiana</i>	3	0,26	<i>Nipuinapatho</i>	1	0,09
<i>Hugonia orientalis</i>	17	1,50	<i>Commiphora serrata</i>	3	0,26	<i>Combretum psidioides</i>	1	0,09
<i>Swartzia madagascariensis</i>	16	1,41	<i>Mussaria</i>	3	0,26	<i>Santxiha</i>	1	0,09
<i>Byrsocarpus orientalis</i>	15	1,32	<i>Ochna natalitia</i>	3	0,26	<i>Sapanhunhu</i>	1	0,09

3.2) Structure des peuplements ligneux

3.2.1) Densité par hectare

La densité moyenne s'élève à 430 individus par hectare, pour les arbres sur pied inventoriés (1 349 individus). Ces peuplements sont donc relativement denses.

Cette densité peut varier de façon importante en fonction des placettes avec, par exemple, 224 ind/ha dans la placette n°44, contre 846 ind/ha dans la placette n°35 (Figure 5).

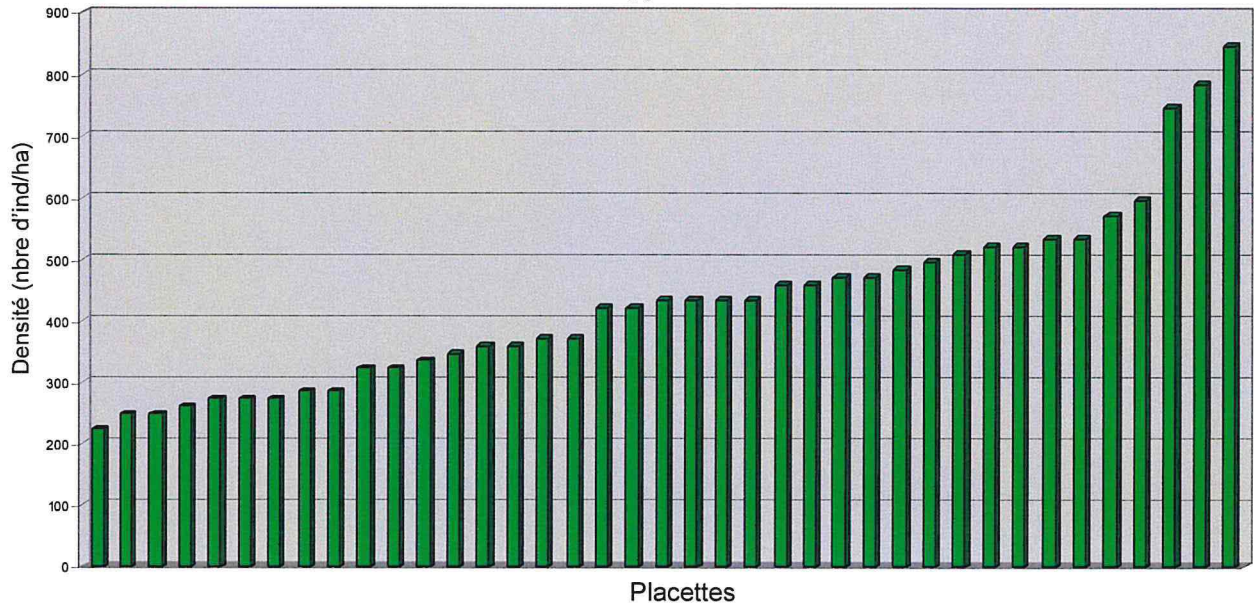


Figure 5 : densité des individus ligneux en fonction des placettes

3.2.2) Hauteur moyenne

La hauteur moyenne des peuplements est de 8,26 m ($n = 1\ 349$, écart-type = 5 m). Cette hauteur moyenne relativement élevée présente un écart-type important. La figure 6 illustre la distribution des individus par classe de hauteur.

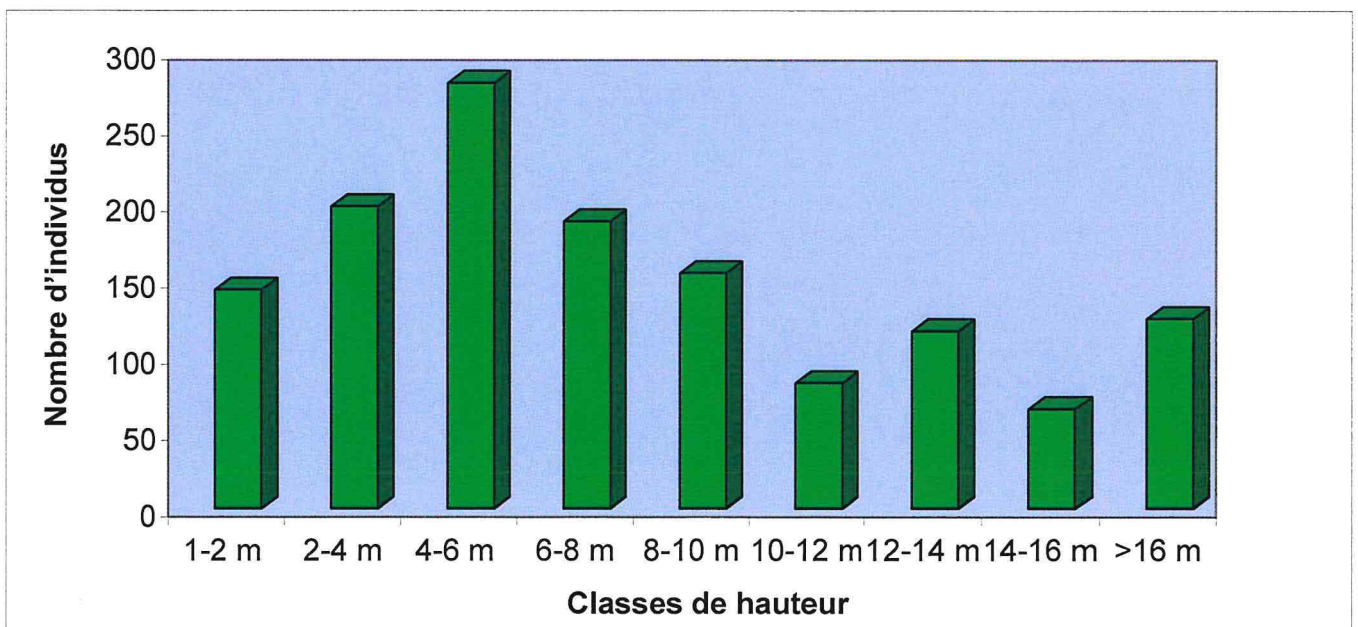


Figure 6 : nombre d'individus en fonction des classes de hauteur

La distribution est très inégale et donc difficilement interprétable. Plusieurs raisons peuvent générer cette discontinuité comme le manque d'échantillonnage ou encore le manque de connaissance sur des événements passés qui pourraient influencer sur la distribution (coupe de bois, etc.). N'ayant pas étudié les régénérations, ces données

permettraient de compléter les classes de hauteur comprises entre 0 et 2 m. L'étude des distributions des individus par classe de hauteur des espèces dominantes (contribution spécifique > 6 %) a été réalisée (Annexe 6). L'inégalité de ces distributions explique en partie la discontinuité observée sur la figure 6. La classe la plus élevée est représentée par des individus comme *Brachystegia bohemii*, *Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia globiflora*, *Burkea africana* et *Pterocarpus angolensis*.

3.2.3) Diamètre moyen

Le diamètre moyen des peuplements est de 14,7 cm (n = 1 349, écart-type = 12 cm). Ce diamètre moyen est élevé et présente un écart-type très important. Plus de 50 % des individus mesurés ont un diamètre compris entre 5 et 20 cm.

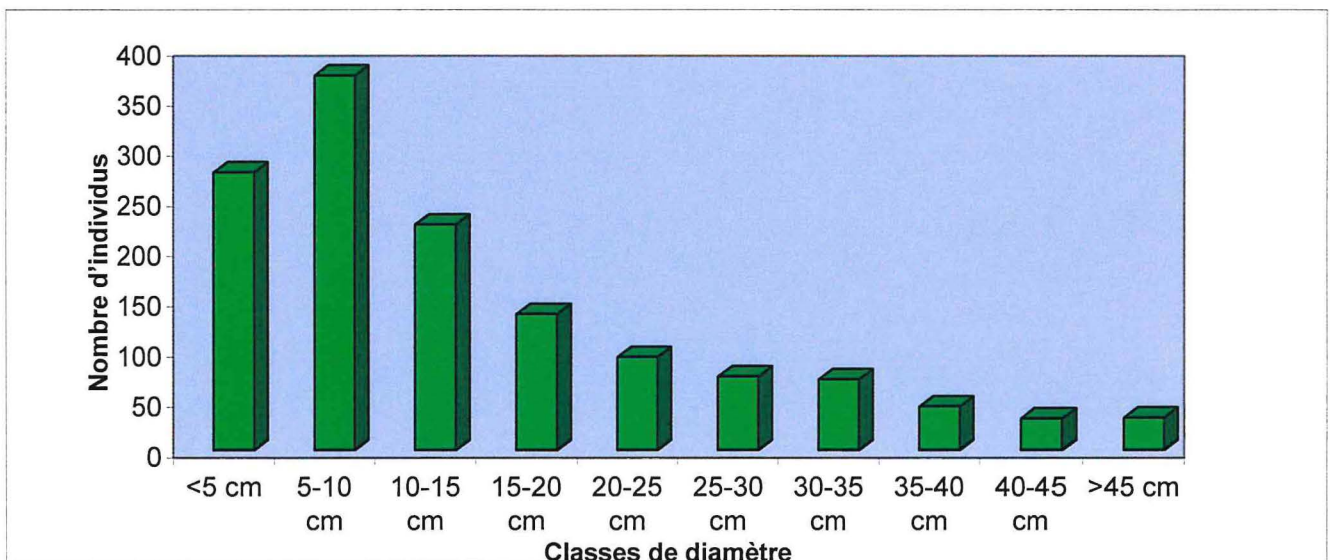


Figure 7 : nombre d'individus en fonction des classes de diamètre

La distribution des individus en fonction des classes de diamètre est relativement équilibrée comme le montre la figure 7 avec près de 30 % des individus présentant un diamètre compris entre 5 et 10 cm.

De même que précédemment, le manque de données au niveau des régénérations semble influencer sur la classe < 5 cm.

3.2.4) Surface terrière

La surface terrière de l'échantillon inventorié est égale à 11,9 m²/ha. Elle est très variable d'une placette à une autre, avec une moyenne par individu de 281,4 cm² (n = 1 349, écart-type = 454,9 cm²), mettant en évidence un diamètre moyen relativement élevé.

3.2.5) Couvert arboré

Le couvert moyen par individu s'élève à 17 m² (n = 1 349, écart-type = 30,1 m²). Rapporté à l'hectare, le couvert ligneux est proche de 73 %. Le recouvrement de la

canopée est donc élevé. La densité variable des peuplements conduit à définir ces formations comme des savanes arborées à boisées.

3.3) Classification hiérarchique ascendante (CHA)

Des 39 relevés de végétation exécutés dans la RNG, quatre classes ont été discriminées (Figure 8). Cette première sélection des classes les plus significatives est établie sur la base de l'analyse de l'indice de niveau et de l'indice de spécificité (Tableau 2 et 3).

Les classes de relevés 1 et 2 s'individualisent le mieux (séparation significative). Ensuite, les classes 3 et 4 se différencient bien du reste des classes mais avec des indices plus faibles. A partir de la classe 5 les valeurs de l'indice de niveau diminuent avec des écarts peu significatifs et de ce fait, elles ne seront pas retenues (très peu différentes entre elles).

La classe 1 regroupe 12 relevés et se caractérise sur le plan physiognomique par la présence de *Julbernardia globiflora* et de *Dalbergia nitidula*. La classe 2 est constituée de 13 relevés et se caractérise par la présence de *Diplorhynchus condylocarpon*. La classe 3, composée de 7 relevés, présente une physiognomie floristique dominée par la présence de *Dalbergia nitidula* et *Brachystegia spiciformis*. Quant à la classe 4, elle est constituée de 2 relevés. Cette dernière est dominée par la présence de *Parinari curatellifolia* et *Hymenocardia acida*, ligneux caractéristiques des sols sableux.

A partir des photos 3.1, 3.2, 3.3 et 3.4 qui illustrent, à titre d'exemple, chacune des quatre classes, l'homogénéité des faciès de végétation apparaît clairement. Seule une classification hiérarchique ascendante permet de discriminer des classes.

Tableau 2 : indice de niveau

N° de classe	Indice de niveau
1	9
2	7
3	6
4	5
5	4
6	4
7	3
8	3
9	3
10	2
11	1

Tableau 3 : indice de spécificité

N° de classe	Rho ₂
1	344
2	431
3	1496
4	4035

Classe	Indice de spécificité (Rho2)	Nombre de relevés	Type physiologique
1	0344	12	Savanes arborées à boisées * Hauteur moyenne = 8 (N = 432, Ecartype = 4,3) * Recouvrement (%) = 67 (Surf. tot. : 9648 m²) * Densité (Nb/ha) = 448 (Surf. tot. : 9648 m²)
2	0431	13	Savanes arborées à boisées * Hauteur moyenne = 8,5 (N = 393, Ecartype = 4,7) * Recouvrement (%) = 72 (Surf. tot. : 10452 m²) * Densité (Nb/ha) = 376 (Surf. tot. : 10452 m²)
3	1496	07	Savanes arborées à boisées * Hauteur moyenne = 9,5 (N = 258, Ecartype = 6) * Recouvrement (%) = 98 (Surf. tot. : 5628 m²) * Densité (Nb/ha) = 460 (Surf. tot. : 5628 m²)
4	4035	02	Savanes arborées * Hauteur moyenne = 6,3 (N = 105, Ecartype = 3,5) * Recouvrement (%) = 45 (Surf. tot. : 1608 m²) * Densité (Nb/ha) = 653 (Surf. tot. : 1608 m²)

Classification Hiérarchique effectuée avec une distance euclidienne et profil de classes

Profil des classes

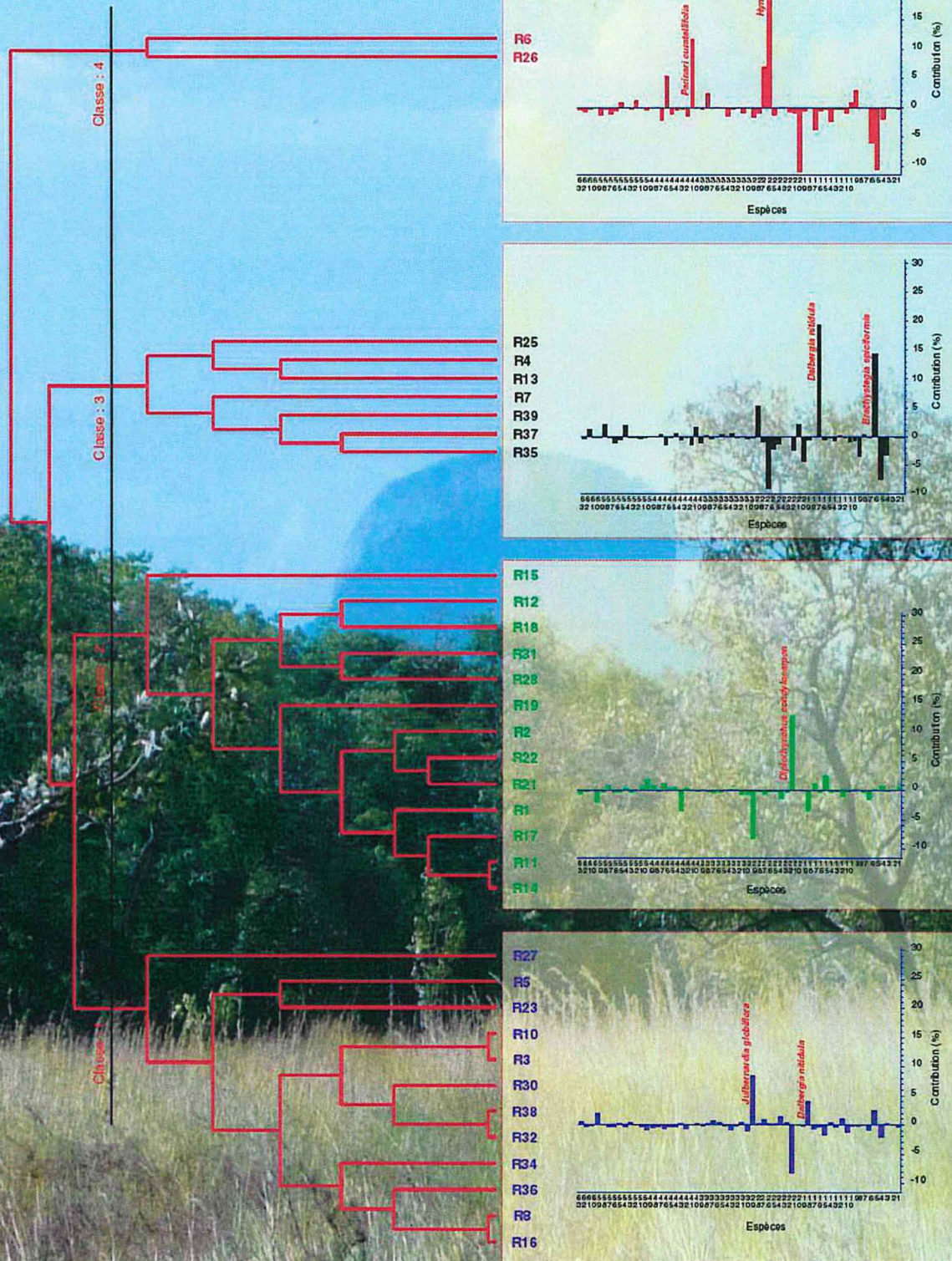


Figure 8 : classification hiérarchique effectuée avec une distance euclidienne et profil des classes



Photo : 3.1) Classe 1 ; 3.2) Classe 2 ; 3.3) Classe 3 ; 3.4) Classe 4

3.4) Classification du PVI

L'homogénéité radiométrique des échantillons choisis a été évaluée par l'examen de la matrice de confusion (Tableau 4). Une matrice de confusion se présente sous la forme d'un tableau à double entrée. Une des entrées correspond aux pixels affectés aux classes d'après notre connaissance du terrain tandis que l'autre représente les pixels attribués aux classes après la procédure de classification.

Chaque groupe thématique a été identifié et soumis à une validation avec les relevés floristiques qualitatifs susceptibles de le représenter ainsi que les points de contrôle pris sur le terrain (132 points de contrôle géo-référencés). Après validation, chaque groupe a été retiré de l'image afin de réduire sa confusion avec les groupes voisins lors du traitement suivant.

Tableau 4 : matrice de confusion

Class	Class	Class	Class	Class	Class	Class	Class	Class	Class	Class	Class	Class	Class	Class	FEU	NUAGE	SOLNU	EAU	Row	Total
1-R4	1-R5	1-R6	2-R1	2-R2	2-R3	2-R4	2-R5	2-R6	3-R1	3-R2	3-R3	3-R4	4-R1	4-R2						
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	100
0	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
80	0	5	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	100
1	87	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	3	0	7	0	0	0	0	0	100
5	3	80	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	100
6	0	0	75	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
0	0	0	12	83	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	100
0	0	0	0	0	96	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	100
0	0	0	0	5	0	93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
2	0	0	4	0	0	3	83	0	0	0	3	0	5	0	0	0	0	0	0	100
1	0	0	2	0	0	0	9	78	5	0	0	2	0	1	0	0	0	2	0	100
0	0	0	0	0	0	0	0	2	92	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	100
0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	86	0	0	2	7	0	0	0	0	0	100
0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	92	6	0	0	0	0	0	0	0	100
0	0	0	0	6	4	4	0	0	0	0	0	82	0	0	0	0	0	0	0	100
0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	91	0	0	0	0	0	0	100
0	6	6	0	0	0	0	0	6	0	3	1	0	0	75	0	0	0	0	0	100
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	0	0	3	0	100
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	99	0	0	0	100
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	98	0	0	100
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	97	0	100

3.5) Cartographie de l'occupation des sols

3.5.1) La forêt claire de type *miombo*

Quatre faciès de *miombo* ont été identifiés. Leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5 : caractéristiques des 4 faciès de *miombo* identifiés dans la RNG

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Type physiologique	Savane arborée à boisée	Savane arborée à boisée	Savane arborée à boisée	Savane arborée
Hauteur moyenne (m)	8	8,5	9,5	6,3
Ecart-type (m)	4,3	4,7	6	3,5
Recouvrement de la canopée (%)	67	72	98	45
Densité (ind/ha)	448	376	460	663
Surface cartographiée (ha)	121 573	104 625	11 880	250
Espèces ligneuses caractéristiques	<i>Julbernardia globiflora</i> & <i>Dalbergia nitidula</i>	<i>Diplorhynchus condylocarpon</i>	<i>Dalbergia nitidula</i> & <i>Brachystegia spiciformis</i>	<i>Parinari curatellifolia</i> & <i>Hymenocardia acida</i>

3.5.2) Autres types d'occupation du sol

Les zones brûlées et celles correspondant aux zones d'eau libre ont été très facilement identifiées sur la base des relevés de terrain géo-référencés, puis recodées pour être extraites du PVI.

Concernant les zones de cultures pluviales (à l'extérieur de la RNG ; non représentées sur la carte), elles sont de faible superficie, et/ou très morcelées. Sur l'image, les parcelles correspondantes présentaient une faible activité photosynthétique. Plusieurs classifications ont été tentées, mais elles n'ont pas permis de discriminer efficacement les cultures pluviales des sols nus. Les relevés qualitatifs effectués sur le terrain ont permis de définir leurs caractéristiques radiométriques afin de réaliser un seuillage du PVI qui a permis de pallier à ce problème.

L'identification radiométrique des *dambos* a également été effectuée par classification supervisée de l'indice de végétation, en prenant appui sur les points de contrôle où ces faciès ont été observés.

En revanche, les savanes très claires (recouvrement de la canopée < 5 %) ont posé quelques difficultés du fait de leur confusion avec les *dambos*. La difficulté s'est accrue pour les zones de transition entre un faciès de savane très claire et un faciès de savane arborée claire, et surtout quand cette transition s'opère de manière très graduelle. Il a fallu déterminer sur le PVI un seuil radiométrique à partir duquel s'opère une transition vers un groupe thématique différent. Ces zones de transition restent un sérieux problème à résoudre du fait de la date d'acquisition de l'image (septembre 2006, fin de saison sèche).

Néanmoins, un nombre important de *dambos* a été validé sur le PVI par les points de contrôles caractérisant ce type de formation. C'est une classe radiométrique d'une valeur de PVI proche de celle des sols nus.

La cartographie de l'occupation des sols de la RNG est présentée figure 9.

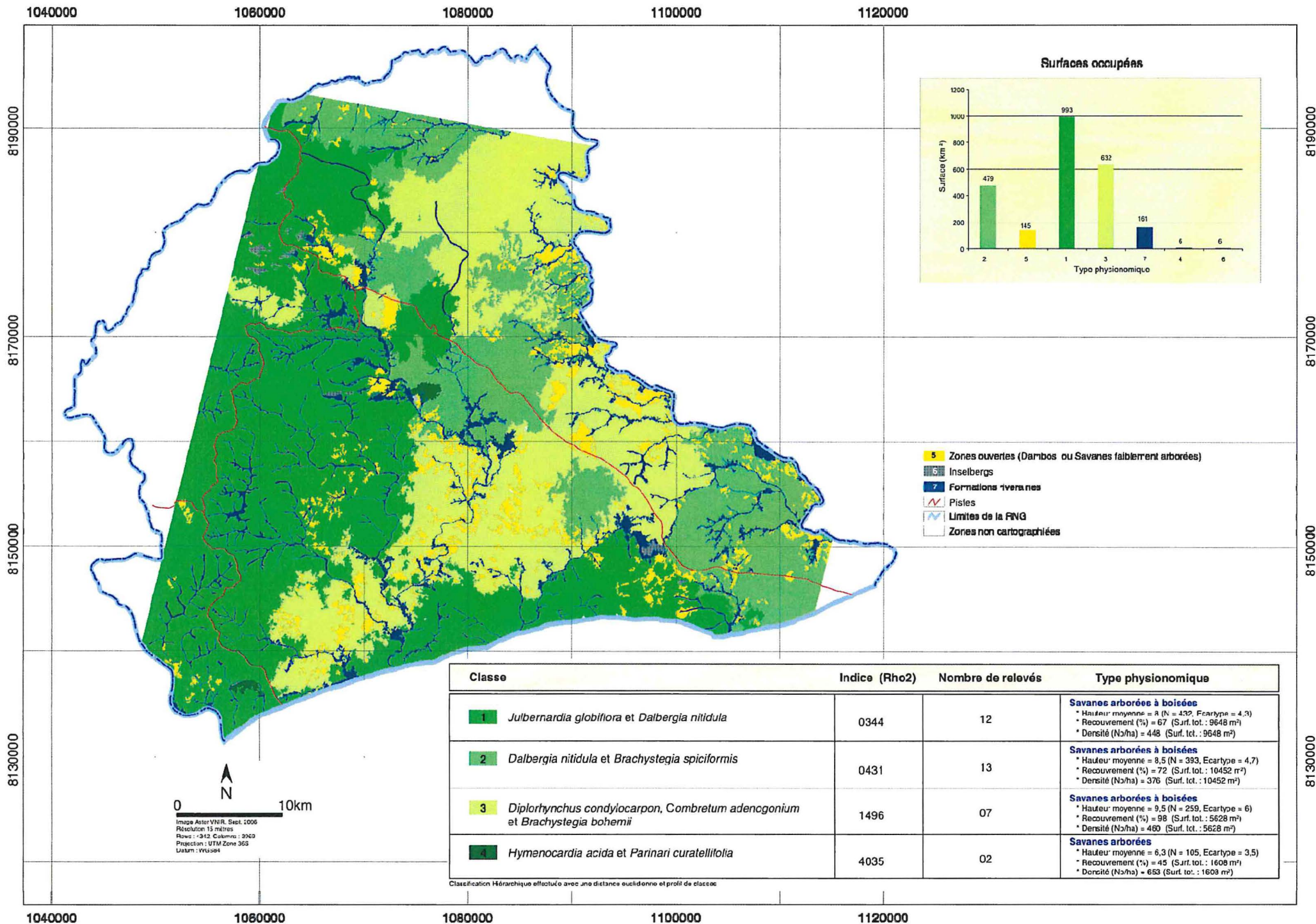


Figure 9 : Cartographie de l'occupation des sols de la RNG

4) DISCUSSION

4.1) L'image satellite

Une image de type ASTER-VNIR (résolution 15 m) semble bien adaptée à ce type de travail. En effet, afin de typer différents *miombos*, la résolution de 15 m est suffisante. En fonction de la disponibilité des images à l'achat, nous avons utilisé une image datant du début du mois de septembre, c'est à dire de fin de saison sèche. Idéalement, une image de fin de saison des pluies serait préférable puisque la végétation y présenterait un maximum de réflectance en raison de sa forte activité chlorophyllienne.

L'image ne couvrant pas la totalité de la RNG, l'idéal serait de commander une image, aux périodes souhaitées, recouvrant l'intégralité de la RNG, mais ce processus est long et coûteux.

L'établissement de l'indice de végétation (PVI) a permis d'identifier 43 positions. Nous nous sommes donc basés sur les différentes classes de réflectance pour échantillonner notre image. Idéalement, un échantillonnage stratifié ou systématique serait préférable. Au final, 39 placettes ont été réalisées. Ce nombre est faible et il serait nécessaire d'accentuer l'effort d'échantillonnage, à l'avenir, pour compléter les données. Cependant, compte tenu du temps et de la logistique disponibles sur la zone, notre échantillonnage représentait le meilleur compromis.

4.2) Protocole des relevés

Ce protocole est lourd mais il permet de tirer plusieurs caractéristiques importantes de la végétation.

Concernant le calcul du recouvrement de la canopée (à partir des mesures des deux diamètres en croix aux tangentes du houppier), la couverture est nécessairement surestimée en raison du chevauchement des strates. Plus une zone est claire plus le calcul s'approche de la réalité, mais la densité ligneuse de la RNG est importante. Néanmoins, généralement, le recouvrement de la canopée est estimé « à l'œil ». Bien qu'une personne habituée puisse effectuer des estimations relativement précises, cette détermination est toujours subjective.

Notre méthode présente l'avantage de sa répétitivité dans le temps, quel que soit l'observateur.

Pour ce qui est des mesures de hauteur de chaque individu, l'utilisation d'un clinomètre ou d'un appareil similaire serait préférable, mais il faudrait alors prévoir de passer beaucoup plus de temps sur chaque relevé pour mesurer l'ensemble des individus ligneux d'une placette avec de tels appareils.

Enfin, ce protocole s'attache plus particulièrement aux ligneux qu'au tapis herbacé. Etant donné que cette carte constitue l'étude initiale de la végétation de la RNG, et que nous avons travaillé à partir d'une image satellite, l'étude des peuplements ligneux était principale. Cependant, en vue des futures réintroductions de grands mammifères herbivores, notamment pour des pousseurs stricts, une étude plus approfondie du tapis végétal doit être réalisée. A l'aide de méthodes comme les

points-quadrats (les plus souvent utilisées) et des relevés de biomasses il serait possible de bien définir et caractériser le tapis herbacé (fréquence, contribution spécifique, recouvrement, etc.).

4.3) Analyse des données

Après une analyse statistique, quatre faciès de végétation ont pu être mis en évidence. Compte tenu du faible taux d'échantillonnage (39 placettes), il serait nécessaire de confirmer ces quatre classes. En effet, par exemple, la classe 4 est constituée de 2 relevés. Probablement sous-échantillonnée, un effort d'échantillonnage plus important permettrait de discriminer définitivement cette classe.

De même, au sein des quatre classes discriminées, une intensification de l'échantillonnage pourrait faire apparaître de nouvelles classes.

4.4) Cartographie

En raison de l'homogénéité des peuplements ligneux de la RNG, les quatre faciès de végétation n'ont pas pu être identifiés clairement d'un point de vue radiométrique. De même que précédemment, seule une augmentation de l'effort d'échantillonnage permettrait de préciser les différents types physiologiques.

Cependant, les *dambos*, les *inselbergs* ou encore les forêts riveraines apparaissent nettement.

Cette carte est un état des lieux à un moment donné. Seule une vérification de terrain peut confirmer les différents types d'occupation des sols identifiés.

De plus, une étude pédologique de la RNG permettrait une meilleure distinction des unités végétales.

4.5) Les réintroductions

Une carte de végétation est un outil de gestion. Les possibilités d'utilisation de ce type de carte sont nombreuses.

Néanmoins, la motivation principale à la mise en place de cette étude était l'action à long terme prévue par la Fondation IGF, la réintroduction de grands mammifères, notamment du Zèbre de Burchell (*Equus burchellii*) et du Gnou à queue noire (*Connochaetes taurinus*), ou encore le renforcement des populations du Buffle d'Afrique (*Syncerus caffer*).

Dans le souci du respect des Lignes Directrices relatives aux Réintroductions (1998), l'évaluation du site de réintroduction est nécessaire avant la mise en place de tels programmes. La carte réalisée ici est un bon point de départ. Elle constitue un état des lieux de la végétation actuelle de la RNG et l'étude des peuplements au cours du temps permettra de suivre l'évolution de la végétation, notamment après des événements de réintroductions.

Nous avons ici distribué différents types de végétation au sein de la RNG. En fonction des futurs programmes de réintroduction, nous pourrions stratifier, détailler ou encore travailler sur ces différents faciès. Comme nous l'expliquions précédemment, des études plus approfondies sur le tapis herbacé permettront, par exemple, de déterminer des capacités de charge après avoir calculé les biomasses produites par une unité de végétation.

De plus, l'évaluation d'un site de réintroduction ne concerne pas uniquement la

capacité biologique de la zone, qui permet d'assurer l'augmentation de la population réintroduite. En effet, l'identification des différents types d'occupation des sols permet d'avoir une bonne base concernant le choix des sites de lâcher. En effet, en fonction des espèces réintroduites, l'identification de l'hydrographie ou des zones ouvertes par exemple, sont très importantes afin de déterminer les sites de lâcher les plus appropriés.

Enfin, Seddon *et al.* (2007) ont montré que de telles cartes, couplées à des analyses de dynamique des populations, offraient des potentiels prometteurs dans la réussite des programmes de réintroduction.

CONCLUSION

La végétation de la Réserve Nationale de Gilé est caractéristique de la forêt claire de type *miombo*. *Brachystegia boehmii*, *Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia globiflora*, *Pterocarpus angolensis*, *Diplorhynchus condylocarpon*, *Parinari curatellifolia* et *Dalbergia nitidula* interviennent pour plus de 54 % dans la contribution spécifique des espèces ligneuses et elles sont caractéristiques du *miombo*. La densité moyenne des peuplements ligneux s'élève à 430 individus par hectare, avec une hauteur et un diamètre moyen respectivement de 8,6 m et 14,7 cm. Ces formations, relativement denses, présentent une surface terrière moyenne de 11,9 m²/ha. Le recouvrement de la canopée, rapporté à l'hectare, est important avec une valeur de 73 %.

La typologie des peuplements ligneux nous a conduit à identifier quatre faciès de *miombo* qui, en fonction de leur densité et de leur recouvrement, se situent dans des types physiologiques allant de la savane arborée à la savane boisée.

Le tapis herbacé de la RNG est dense et présente une dominance, dans plus de 60 % des cas, de *Themeda triandra*, une graminée à un fort potentiel fourrager.

Au niveau de la cartographie de la zone, l'homogénéité des ces faciès a rendu difficile leur distinction au niveau de l'occupation des sols. Néanmoins, les zones très claires, notamment les *dambos*, les forêts riveraines ou encore les *inselbergs* apparaissent nettement sur la carte.

Cette carte est une première étape vers une cartographie complète de la RNG. Seule une validation sur le terrain permettra de confirmer les différents types d'occupation des sols. L'augmentation de l'effort d'échantillonnage permettra de préciser cette carte. Il est envisageable que des études plus approfondies consentent à subdiviser les types physiologiques définis ici. A partir de cette cartographie, l'évolution de la végétation de la RNG pourra être suivie au cours du

temps. Cette carte constitue les premiers éléments de base pour de nombreuses études. En fonction des actions envisagées par la Fondation IGF, elle contribuera à la création d'un réseau de pistes, à la gestion des feux, à l'identification de points remarquables pour le tourisme ou encore à la conduite de n'importe quelle étude écologique de la faune.

Néanmoins, dans le cas de réintroductions, en fonction des espèces visées, cette cartographie est promise à plusieurs améliorations afin de répondre aux critères d'évaluation de l'habitat définis par l'IUCN (1998), notamment des études approfondies sur le tapis herbacé de la RNG.



Photo 4 : prise de données sur une placette

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

BIBLIOGRAPHIE

Boulet, H., & Lamarque, F., 2007. Co-gestion de la Réserve Nationale de Gilé, mission de préparation. Rapport IGF, 70 p.

Campbell B., 1996. The miombo in Transition : Woodlands and Welfare in Africa. Indonesia : Ed. Center for International Forestry Research, 266 p.

Chidumayo E.N., 1997. Miombo Ecology and Management : An Introduction. London : Ed. Intermediate Technology, 166 p.

Coates Palgrave K., 2002. Trees of Southern Africa. South Africa : Ed. Struik, 1212 p.

Fusari, A., & Cumbane, R.J., 2002. The Game Reserve of Gilé management plan. Direcção Nacional de Áreas de Conservação, Mozambique, 136 p.

IUCN, 1998. Guidelines for Re-introductions. Prepared by the IUCN/SSC Re-introduction Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 10 p.

Koning J., 1993. Checklist of vernacular plant names in Mozambique. Veenman Drukkers B. V., Wageningen, 274 p.

Lebrun J.P., & Stork A., 1991-1997. Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. CJBG, Genève, Volume I (1991), 249 p., Volume II (1992), 257 p., Volume III (1995), 341 p., Volume IV (1997), 712 p.

Mésochina P., 2008. Preliminary survey of large herbivores in Gilé Nationale Reserve, Zambezia province, Mozambique. Rapport IGF, 59 p.

Poilecot P., Timberlake J., Bailey Drummond R., Mapaura A., Shava S., 2007. Eragrostis species of Zimbabwe. Versailles : Ed. Quae, 242 p.

Ratray J.M., 1960. Tapis Graminéens d'Afrique. Rome : Ed. FAO, 170 p.

Richardson A.J., & Wiegand C.L., 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43 : 1541-1552.

SADC, IUCN, SARDC, 2000. Biodiversity of Indigenous Forests and Woodlands in Southern Africa. Maseru and Harare : Ed. Hugh McCullum, 252 p.

Seddon P.J., Armstrong D.P., Maloney R.F., 2007. Developing the Science of Reintroduction Biology. Conservation Biology, 21 (2) : 303-312.

Van Oudtshoorn F., 2006. Guide to Grasses of Southern Africa. South Africa : Ed. Briza, 288 p.

Van Wyk B., & Van Wyk P., 1997. Field Guide to Trees of Southern Africa. South Africa : Ed. Struik, 536 p.

White, F., 1983. The vegetation of Africa. UNESCO, Paris.

White L., & Edwards A., 2000. Conservation en forêt pluviale africaine : méthodes de recherche. Wildlife Conservation Society, New York, 444 p.

Prin T., 2008. Typologie de la végétation de la Réserve Nationale de Gilé : étude préalable à la réintroduction de grands mammifères.

ANNEXES

Observateur :			HERBACEES			
LIGNEUX			Recouvrement total :			
ESPECES			ESPECES			
			Nom	Proportion	Hauteur	Photos
<u>Observations :</u>			<u>Observations :</u>			
<u>Prélèvements :</u>			<u>Prélèvements :</u>			

Placette n° :	Feu (O/N) :		
Point GPS :	Coordonnées N/S :	Coordonnées E/O :	
Date :			
Photos n° :			

CIRAD-Dist
 UNITÉ PÉDAGOGIQUE
 Baillarguet

ANNEXE 1 : feuille de collecte des données

ANNEXE 2 : liste des espèces ligneuses identifiées

Nom scientifique	Nom vernaculaire (Elomwé)	Famille	Auteurs
<i>Acacia nilotica</i>	N'roca	Mimosaceae	(L.) Willd. ex Delile
<i>Albizia adianthifolia</i>	Tamulucuta	Mimosaceae	(Schumach.) W. Wight
<i>Albizia versicolor</i>	Mucuratxepo	Mimosaceae	Welw. ex Oliv.
<i>Amblygonocarpus andongensis</i>	Namahoucou	Mimosaceae	(Welw. ex Oliv.) Exell & Torre
<i>Annona senegalensis</i>	Muïepé	Annonaceae	Pers.
<i>Bauhinia petersiana</i>	Nacarawa	Caesalpinaceae	Bolle
<i>Brachystegia boehmii</i>	Mutxacatxa	Caesalpinaceae	Taub.
<i>Brachystegia spiciformis</i>	Murotxo	Caesalpinaceae	Benth.
<i>Brackenridgea zanguebarica</i>	Mulucamo	Ochnaceae	Oliv.
<i>Bridelia cathartica</i>	?	Euphorbiaceae	G. Bertol.
<i>Bridelia micrantha</i>	Muitxo	Euphorbiaceae	(Hochst.) Baill.
<i>Burkea africana</i>	Mucala	Caesalpinaceae	Hook.
<i>Byrsocarpus orientalis</i>	M'purunha	Connaraceae	(Baill.) Baker
<i>Cassia petersiana</i>	Répérépé	Caesalpinaceae	Bolle
<i>Catunaregam spinosa</i>	Nassipérépéré	Rubiaceae	(Thunb.) Tirveng
<i>Combretum adenogonium</i>	Djinama (Mopécalawé)	Combretaceae	Steud. ex A.Rich.
<i>Combretum molle</i>	Macucu-amuana	Combretaceae	R.Br. ex G.Don
<i>Combretum psidioides</i>	Norrilo	Combretaceae	Welw.
<i>Commiphora serrata</i>	Eyolowa	Burséraceae	Engl.
<i>Crossopterix febrifuga</i>	Namicouri	Rubiaceae	(Afzel. ex G.Don) Benth.
<i>Dalbergia nitidula</i>	Evico	Fabaceae	Welw. ex Baker
<i>Dichrostachys cinerea</i>	Txalala	Mimosaceae	(L.) Wilght & Arn.
<i>Diospyros kirkii</i>	Muculuo	Ebenaceae	Hiern
<i>Diospyros mespiliformis</i>	Murriparipa	Ebénaceae	Hochst. ex A.DC.
<i>Diplorhynchus condylocarpon</i>	Rocossi	Apocynaceae	(Müll.Arg.) Pichon
<i>Drypetes natalensis</i>	Naculané	Euphorbiaceae	(Harv.) Hutch.
<i>Erythrophleum africanum</i>	Mucarara	Caesalpinaceae	(Welw. ex Benth.) Harms
<i>Flacoutia indica</i>	Napithou	Flacourtiaceae	(Burm.f.) Merr.
<i>Gardenia volkensii</i>	Ekirika	Rubiaceae	K.Schum.
<i>Hugonia orientalis</i>	Nauipahé	Linaceae	Engl.
<i>Hymenocardia acida</i>	Ewapao	Euphorbiaceae	Tul.
<i>Julbernardia globiflora</i>	Nampacala	Caesalpinaceae	(Benth.) Troupin
<i>Lannea schimperi</i>	Canhupo	Anacardiaceae	(Hochst. ex A.Rich.) Engl.
<i>Markhamia zanzibarica</i>	Murucurucu	Bignoniaceae	(Bojer ex DC.) K.Schum.
<i>Millettia stuhlmannii</i>	Nampiré	Fabaceae	Taub.
<i>Mundulea sericea</i>	Vanha	Fabaceae	(Willd.) A.Chev.
<i>Ochna natalitia</i>	Nassilopola	Ochnaceae	(Meisn.) Walp.
<i>Ozoroa obovata</i>	Namapuiti	Anacardiaceae	(Oliv.) R.Fern. & A.Fern.
<i>Parinari curatellifolia</i>	Mutxupi	Chrysobalanaceae	Planch. ex Benth.

Nom scientifique	Nom vernaculaire (Elomwé)	Famille	Auteurs
<i>Pericopsis angolensis</i>	Muaca	Fabaceae	(Baker) Meeuwen
<i>Ptilostigma thonningii</i>	Txixipé	Caesalpinaceae	(Schumach.) Milne-Redh.
<i>Psorospermum febrifugum</i>	Murimowota	Hypericeae	Spach
<i>Pteleopsis myrtifolia</i>	Muléva	Combretaceae	(M.A.Lawson) Engl. & Diels
<i>Pterocarpus angolensis</i>	M'bila	Fabaceae	DC.
<i>Pterocarpus rotundifolius</i>	Mutxiro (M'popué)	Fabaceae	(Sond.) Druce
<i>Sclerocarya birrea</i>	Mutxulo	Anacardiaceae	(A.Rich.) Hochst.
<i>Sterculia quinqueloba</i>	N'txonha	Sterculiaceae	(Garcke) K.Schum.
<i>Strychnos cocculoides</i>	Sahicawa (Mahicawa)	Loganiaceae	Gilg
<i>Strychnos madagascariensis</i>	Culucwo	Loganiaceae	Poir.
<i>Strychnos spinosa</i>	Corropalé	Loganiaceae	Lam.
<i>Swartzia madagascariensis</i>	Nacuata	Caesalpinaceae	Desv.
<i>Terminalia sericea</i>	Cucuwé (Namoro; Samoro)	Combretaceae	Burch. ex DC.
<i>Uapaca kirkiana</i>	Téla	Euphorbiaceae	Müll.Arg.
<i>Uapaca nitida</i>	Cossocoré	Euphorbiaceae	Müll.Arg.
<i>Vangueria infausta</i>	Mudiouloulou	Rubiaceae	Burch.
<i>Vernonia sp.</i>	Nassouca	Asteraceae	
<i>Vitex payos</i>	Mpuru	Verbenaceae	(Lour.) Merr.
<i>Ximenia americana</i>	Napitxi	Ochnaceae	L.
<i>Xylopia aethiopica</i>	Murotxo-mulupalé	Annonaceae	(Dunal) A.Rich.

ANNEXE 3 : liste des Graminées identifiées

Nom scientifique	Nom vernaculaire (Elomwé)	Auteurs
<i>Andropogon sp.</i>	Epelehi III	
<i>Cymbopogon giganteus</i>	Ehourou	Chiov.
<i>Diheteropogon amplexans</i>	Epelehi II	(Nees) Clayton
<i>Hyparrhenia sp.</i>	Epelehi I	
<i>Leptochloa uniflora</i>	Ratxawé	Hochst. ex A.Rich.
<i>Loudetia arundinacea</i>	Sami	(Hochst. ex A.Rich.) Steud.
<i>Panicum phragmitoides</i>	Namélé-mélé	Stapf
<i>Pennisetum polystachion</i>	Nipuéwéré	(L.) Schult.
<i>Pennisetum unisetum</i>	Nipuéo	(Nees) Benth.
<i>Themeda triandra</i>	Muaculuwé	Forssk.

ANNEXE 4 : Caractéristiques image ASTER

ASTER = Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

ASTER est un des nombreux outils à bord de la plateforme Terra qui est une partie importante des missions scientifiques de la NASA (National Aeronautics and Space Administration).

Les images ASTER fournissent 14 bandes spectrales, de 15 à 90 m de résolution, en fonction des bandes.

L'image utilisée ici est une ASTER issue du capteur VNIR (visible et infrarouge). Elle fournit 4 bandes spectrales à 15 m de résolution.

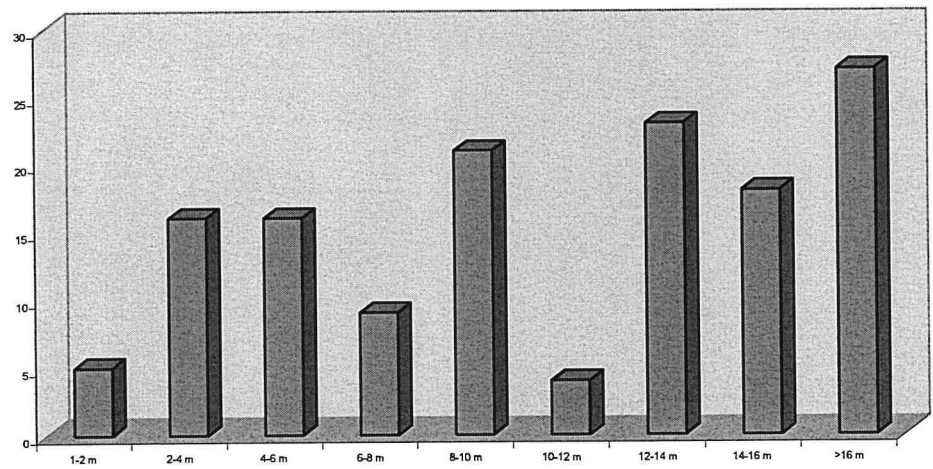
Subdivision	Bande N°	Gamme Spectrale (μm)	Résolution Radiométrique	Précision absolue (σ)	Résolution Spatiale	Niveaux de quantification du signal
VNIR	1 (vert) 2 (rouge) 3N 3B	0,52 – 0,60 0,63 – 0,69 0,78 – 0,86 0,78 – 0,86	NE $\Delta\rho$ 0,5 %	$\leq \pm 4 \%$	15 m	8 bits

ANNEXE 5 : données faune sauvage

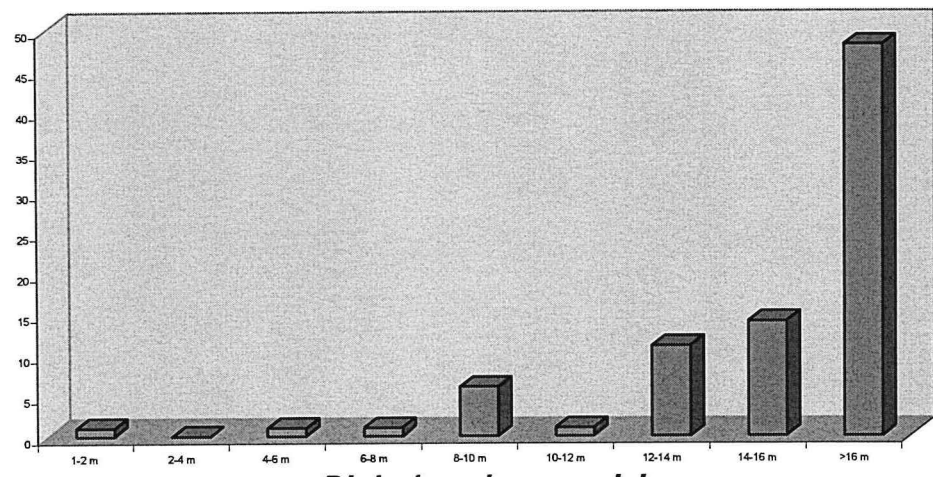
DATE	HEURE	ESPECE	NOMBRE	N° GPS	COORDONNEES N/S	COORDONNEES E/O	ACTIVITE	REMARQUE
12/6/08	8:45	Céphalophe de Grimm	1	45	-16,59205	38,56121	Fuite	
18/6/08	8:47	Céphalophe de Grimm	1	46	-16,68070	38,71291	Fuite	
22/6/08	6:45	Céphalophe de Grimm	1	47	-16,64376	38,67169	Fuite	
8/7/08	11:00	Céphalophe de Grimm	1	49	-16,35304	38,47110	Fuite	
8/7/08	13:48	Céphalophe de Grimm	1	50	-16,38672	38,51707	Fuite	
23/7/08	8:30	Hippotrague noir	8	51	-16,72885	38,32344	Alimentation	
23/7/08	14:00	Céphalophe de Grimm	1	52	-16,77487	38,29245	Fuite	
24/7/08	8:10	Céphalophe de Grimm	1	54	-16,78514	38,24468	Alimentation	
29/7/08	16:10	Grand Koudou	3	55	-16,67922	38,69045	Fuite	1 femelle adulte, 1 mâle sub-adulte, 1 juvénile
30/7/08	6:55	Hippotrague noir	10	56	-16,67938	38,69039	Alimentation	3 juvéniles
30/7/08	12:30	Céphalophe de Grimm	1	57	-16,54258	38,48067	Repos	
2/8/08	8:00	Grand Koudou	1	59	-16,54940	38,49041	Alimentation	
2/8/08	13:50	Cobe à croissant	1	60	-16,61219	38,42928	Fuite	1 mâle adulte
3/8/08	7:00	Céphalophe de Grimm	1	61	-16,69567	38,42670	Repos	
5/8/08	12:20	Céphalophe de Grimm	1	62	-16,44075	38,33941	Repos	

ANNEXE 6 : nombre d'individus en fonction des classes de hauteur des 5 espèces dominantes (abscisses: classes de hauteur ; ordonnées : nombre d'individus)

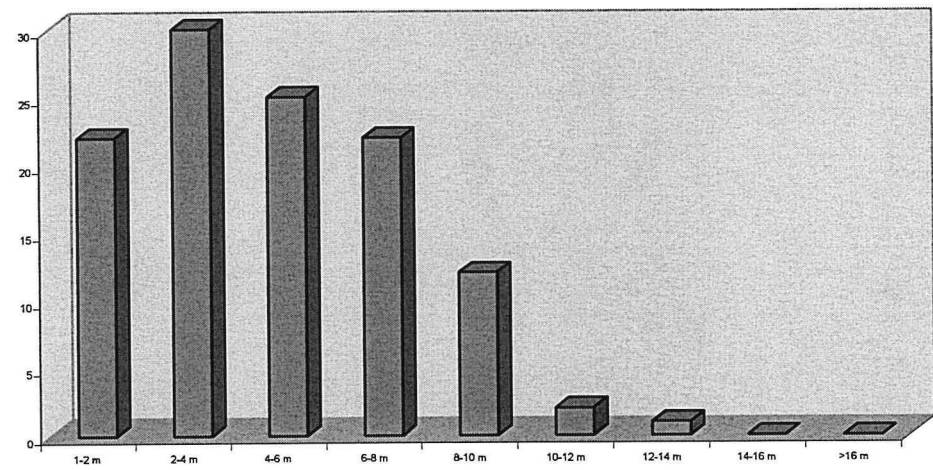
Brachystegia boehmii



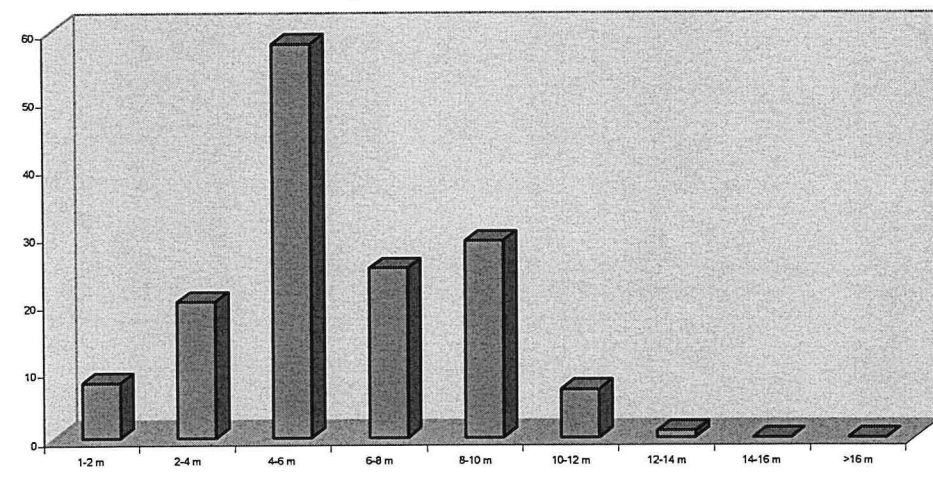
Brachystegia spiciformis



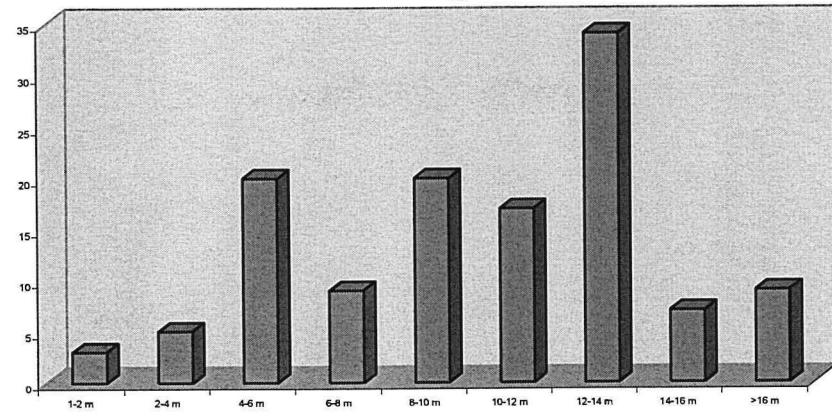
Dalbergia nitidula



Diplorhynchus condylocarpon



Julbernardia globiflora



RESUME

Cette étude avait pour objectifs la cartographie de la typologie des différentes unités de végétation de la Réserve Nationale de Gilé (Mozambique) ainsi que l'identification des différents types d'occupation des sols. L'étude se concentre principalement sur la typologie des peuplements ligneux des forêts de type *miombo*. Cette mission s'inscrivait dans l'étude préalable à la réintroduction de grands mammifères.

L'échantillon était constitué de 39 placettes circulaires de 804 m² dans lesquelles de nombreuses mesures étaient effectuées. Ces données ont permis d'identifier près de 70 espèces ligneuses et 10 espèces de graminées. *Brachystegia boehmii*, *Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia globiflora*, *Diplorhynchus condylocarpon* et *Dalbergia nitidula* sont les espèces dominantes des peuplements ligneux. *Themeda triandra* est la graminée prédominante et présente un fort potentiel fourrager. L'analyse statistique a permis d'identifier 4 types de *miombo* allant de la savane arborée à la savane boisée. La zone présente, pour les ligneux, une densité moyenne de 430 ind/ha, une hauteur et un diamètre moyen respectivement de 8,6 m et 14,7 cm, une surface terrière de 11,9 m²/ha et un recouvrement de la canopée de 73 %.

A partir d'une image satellite Aster, les différents types d'occupation des sols ont été cartographiés. Malgré l'homogénéité de la végétation, plusieurs types sont nettement identifiés, qu'il s'agisse du *miombo*, des zones très claires ou encore de l'hydrographie.

Cette carte est une première étape vers une cartographie complète de la zone. Après une confirmation sur le terrain, elle est promise à des améliorations et constitue les premiers éléments de base nécessaires afin de suivre l'évolution de la végétation au cours du temps, notamment après des réintroductions.

MOTS CLES : *miombo* ; cartographie ; image satellite ; typologie ; réintroduction ; végétation ; Mozambique