

Institut d'Elevage et de Médecine  
Vétérinaire des Pays Tropicaux  
10, rue Pierre Curie  
94704 MAISONS-ALFORT Cedex

Institut National Agronomique  
Paris-Grignon  
16, rue Claude Bernard  
75005 PARIS

Ecole Nationale Vétérinaire  
d'Alfort  
7, avenue du Général-de-Gaulle  
94704 MAISONS-ALFORT Cedex

Muséum National d'Histoire Naturelle  
57, rue Cuvier  
75005 PARIS



---

# DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

---

## MEMOIRE DE STAGE

IMPORTANCE DES LIGNEUX POUR LA GESTION DU  
PATURAGE CAPRIN EN ZONES COMMUNALES ZIMBABWEENNES :  
IDENTIFICATION DES ESPECES CLES ET ESTIMATION  
DE LA BIOMASSE FOLIAIRE DISPONIBLE

par

Laurence LANNOY

année universitaire 1993-1994

# DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

---

## IMPORTANCE DES LIGNEUX POUR LA GESTION DU PÂTURAGE CAPRIN EN ZONES COMMUNALES ZIMBABWEENNES: IDENTIFICATION DES ESPECES CLES ET ESTIMATION DE LA BIOMASSE FOLIAIRE DISPONIBLE

par

**Laurence LARROY**

**Lieux de stage :** MASVINGO, BIKITA et HARARE (Zimbabwe)

**Organismes d'accueil :** CIRAD-EMVT Projet Zimbabwe et Agritex (Zimbabwe)

**Maîtres de stage :** H. Fritz et J. Gauthier

**Période de stage :** 12 mai - 1 décembre 1994

**Rapport présenté oralement le :** 13 décembre 1994

## **REMERCIEMENTS**

Je tiens à remercier H. Fritz et J. Gauthier, mes maîtres de stage, pour leur accueil, ainsi que pour leur savoir et leur expérience qu'ils m'ont fait partager.

Je remercie l'équipe du CIRAD-EMVT Zimbabwe, et notamment F. Monicat, E. Féron, V. Martin, Trudy et Georaphy, ainsi que S. Ducornez et X. Pacholek.

Je remercie les chercheurs d'Agritex-Masvingo, spécialement Mr Denda, Mme Shumba et Mr Marovanidze, et d'Agitex-Bikita, en particulier Mr Pagare, ainsi que les chercheurs et techniciens de la Station de recherche de Makoholi, et particulièrement Mr Gambeza, Mme Zvarevashe, Mr Timbo, Mme Chifamba, ainsi que Mr Hagmann.

Je tiens à remercier les employés de la ferme de Bikita, et particulièrement Mr Madara, ainsi que Temoni et Dudzaï pour leur aide sur le terrain.

Je remercie enfin toute la famille Gauthier et toute l'équipe des CSN de Vainona qui m'ont chaleureusement accueillie.

## RESUME

Afin d'améliorer la gestion des ressources fourragères au Zimbabwe, des grazing-scheme, pâturages communs divisés en 5 ou 6 enclos, ont été mis en place. Ils sont gérés au niveau du village par le conseiller agricole, auquel est indiqué une fréquence de rotation et une capacité de charge. Le travail effectué s'est concentré sur deux points précis de ce long et fastidieux calcul de capacité.

L'étude, réalisée au Zimbabwe et consacrée aux caprins, a en effet un objectif double: connaître les préférences alimentaires de ceux-ci en ce qui concerne les ligneux et mettre au point une méthode d'évaluation rapide de la biomasse foliaire ligneuse disponible, car celle-ci n'est jamais prise en compte dans la détermination de capacité de charge.

Ce document expose dans un premier temps une synthèse des recherches effectuées en Afrique australe, plus particulièrement au Zimbabwe, sur ces deux thèmes.

Dans le second volet, il fournit les résultats de la recherche. Tout d'abord, une classification des espèces ligneuses selon leur attractivité pour les caprins est donnée. Dans la formation végétale étudiée (majoritairement savanne à acacias et Miombo, forêt claire d'arbres caducifoliés, essentiellement des genres *Brachystegia* et *Julbernardia*), les ligneux préférés sont *Acacia rehmanniana*, *Ziziphus mucronata*, *Acacia nilotica* et *Dichrostachys cinerea*.

Puis est présentée une méthode d'évaluation rapide de la biomasse foliaire ligneuse disponible à partir de la "verdeur" de l'arbre, (c'est-à-dire l'apparence visuelle de vert de la plante, soit encore la part du vert dans le volume total observé) et du volume moyen du disponible (estimé à partir de la forme moyenne du houppier accessible). L'étude a porté sur trois espèces: *Acacia rehmanniana*, *Acacia nilotica* et *Dichrostachys cinerea*. Les équations obtenues prédisent la somme de la matière sèche (SDL, en g) des quatre prélèvements d'un volume constant ( $4 \times 0,075 \text{m}^3$ ) effectués sur l'arbre, en fonction des classes de verdeur (V) du ligneux:

- *Acacia rehmanniana* :  
SDL = 10,25 (+/-0,95) \* V - 2,39 (+/-2,92)                      R<sup>2</sup>= 0,76
- *Acacia nilotica* :  
SDL = 7,24 (+/- 1,07) \* V - 1,55 (+/-1,93)                      R<sup>2</sup>= 0,65
- *Dichrostachys cinerea* :  
SDL = 3,71 (+/-0,61) \* V + 0,08 (+/-1,60)                      R<sup>2</sup>= 0,55

Il faut ensuite appliquer la masse obtenue au volume moyen du disponible, afin de connaître la matière sèche disponible. Cette méthode, simple et rapide, semble être un bon outil de terrain.

### MOTS-CLES:

Ligneux - Caprins - Préférences alimentaires - Biomasse foliaire - Disponible alimentaire - Zimbabwe

## SUMMARY

In order to improve the management of forage resources in Zimbabwe, grazing-schemes, communal pastures divided into 5 or 6 paddocks, have been established. They are managed at village level by the agricultural advisor, who is told the rotation frequency and the stocking rate. This study concentrated on two precise points of this long, boring capacity calculation.

The study, carried out on goats in Zimbabwe, in fact has a double objective: to discover the feeding preferences as far as browses are concerned, and to establish a rapid method for evaluating the foliar browse biomass available, because this is never taken into account when determining carrying capacity.

This document starts with a synthesis of research carried out in Southern Africa, more particularly Zimbabwe, on these two topics.

In the second section, results of the study are given. First, a classification of browse species according to their attractiveness to goats is given. In the vegetation area studied (primarily acacia and miombo savannah) preferred browse species are *Acacia rehmanniana*, *Ziziphus mucronata*, *Acacia nilotica* and *Dichrostachys cinerea*.

A rapid method for evaluating foliar browse biomass available is then presented, based on the "greenness" of the tree (i.e. the green visual appearance of the plant, even the proportion of green in the total volume observed), and the average volume of browse available (calculation starting with the average shape of browse biomass available). The study concentrated on three species: *Acacia rehmanniana*, *Acacia nilotica* and *Dichrostachys cinerea*. The equations obtained predict the dry matter (SDL, in grams) of a constant volume (0,3m<sup>3</sup>) according to the greenness (V) of the tree:

- <i>Acacia rehmanniana</i> :		
SDL = 10,25 (+/-0,95) * V - 2,39 (+/2,92)		R <sup>2</sup> = 0,76
- <i>Acacia nilotica</i> :		
SDL = 7,24 (+/-1,07) * V - 1,55 (+/-1,93)		R <sup>2</sup> = 0,65
- <i>Dichrostachys cinerea</i> :		
SDL = 3,71 (+/-0,61) * V +0,08 (+/-1,60)		R <sup>2</sup> = 0,55

The mass obtained should then be applied to the average volume of browse available, to determine the dry matter available. This quick, simple method seems to be a good field tool.

### KEY WORDS:

Browses - Goats - Feed preferences - Foliar biomass - Feed availability - Zimbabwe

## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
<b>I. PRESENTATION DU ZIMBABWE</b>	3
A. MILIEU NATUREL	3
1. GEOGRAPHIE	3
a. du pays	
b. du site d'étude	
2. CLIMAT	4
a. du pays	
b. du site d'étude	
3. LA VEGETATION	4
a. Du pays	
a1. La région du Miombo	
a2. Les formations à Mopane	
a3. Les associations d'acacias	
a4. Les savanes mixtes	
a5. la forêt claire à Baikiaea plurijuga	
b. Sur la ferme de Bikita	
B. AGRICULTURE ET ELEVAGE	8
1. REGIME FONCIER	8
2. PRODUCTIONS AGRICOLES	10
a. En zones commerciales	
b. En zones communales	
3. ELEVAGE	11
a. En zones commerciales	
b. En zones communales	
<b>II. APERCU DES RECHERCHES EFFECTUEES SUR L'APPETIBILITE DES LIGNEUX PAR LES CAPRINS EN AFRIQUE AUSTRALE</b>	13
A. ALIMENTATION LIGNEUSE DES CAPRINS	13
B. SELECTION ET APPETIBILITE DES FOURRAGES LIGNEUX POUR LES CAPRINS	14
1. SELECTION PAR LES CAPRINS	14
2. APPETIBILITE POUR LES CAPRINS	15

3. LES ESPECES APPETEES PAR LES CAPRINS	16
a. Appétibilité et valeur nutritive	
b. Classification des espèces appréciées	
<b>III. APERCU DES RECHERCHES EFFECTUEES SUR LA BIOMASSE LIGNEUSE AU ZIMBABWE</b>	21
A. LES DIFFERENTES METHODES UTILISEES	21
B. LES MESURES RETENUES	21
C. SYNTHESE DE DIFFERENTS MODELES	23
D. CONCLUSION	25
<b>ETUDE EXPERIMENTALE</b>	
<b>I. APPETIBILITE DES LIGNEUX INDIGENES</b>	26
A. MATERIEL, METHODE	26
1. OBJECTIF	26
2. PROTOCOLE	26
B. RESULTATS-DISCUSSION	28
1. ACCEPTABILITE ABSOLUE	28
a. Acceptabilité absolue des rameaux	
b. Acceptabilité des fruits	
2. INDICE DE REFUS	31
<b>II. DETERMINATION D'UNE METHODE D'EVALUATION RAPIDE DE LA BIOMASSE FOLIAIRE DES LIGNEUX FOURRAGERS</b>	33
A. MATERIEL, METHODE	33
1. JUSTIFICATION DES RECHERCHES	33
2. PROTOCOLE DE MISE AU POINT DES METHODES "VERDEUR" ET "CASES VERTES "	34
a. Etablissement des classes de "verdeur"	
b. Mesures et notation	
c. Prélèvements	

B. RESULTATS - DISCUSSION	37
1. LA METHODE "VERDEUR" DE L'ARBRE	37
a. Analyse de variance	
b. Régression prédictive des modèles	
c. Amélioration du modèle	
d. Discussion	
2. METHODE "CASES VERTES"	41
a. Analyse de variance	
b. Régression prédictive	
c. Discussion	
3. COMPARAISON DE LA METHODE "VERDEUR" AVEC D'AUTRES METHODES	44
a. Comparaison méthode "verdeur" - modèle volumique	
b. Recherche de modèles allométriques à partir de nos données	
c. Comparaison de la méthode "Verdeur" et de la méthode "Cases vertes"	
4. VOLUMES MOYENS DU DISPONIBLE	48
5. TABLEAU DE SYNTHESE DE L'APPLICATION DE LA METHODE "VERDEUR"	50
<b>CONCLUSION</b>	51
<b>BILIOGRAPHIE</b>	52
<b>ANNEXES</b>	

## INTRODUCTION

Dans les systèmes d'élevage traditionnels africains, les bovins représentent la richesse, la capitalisation des éleveurs, tandis que les caprins restent une épargne, plus facilement mobilisable. En conséquence, tous les soins sont consacrés aux premiers. Ceux-ci bénéficient notamment d'une meilleure alimentation: les meilleurs pâturages, les résidus de culture, les repousses après feu, les compléments... leurs sont réservés. Les chèvres, en revanche, se nourrissent totalement seules et reçoivent rarement un complément.

Pourtant, elles ont une résistance à la saison sèche et à la sécheresse largement supérieure à celle des ovins et des bovins. De plus, elles peuvent survivre sur des sols très pauvres, fréquent dans les régions arides.

Le bétail ne peut en effet satisfaire ses besoins d'entretien (en particulier ses besoins protéiques) en ne se nourrissant que d'herbe sèche (ZIMMERMANN, 1980). Sous les tropiques, la saison sèche durant 6 à 9 mois et les animaux étant rarement complétés, les ruminants dépendent souvent entièrement des ligneux pour équilibrer leur régime en protéines, phosphore, calcium et vitamine A pendant cette saison (FRITZ et al., 1994). Les bovins et les ovins, qui sont des paiseurs ("grazers" en anglais), peuvent ainsi intégrer respectivement jusqu'à 30 et 50p.100 de ligneux dans leur ration, en cas de fort appauvrissement de la strate herbacée. Les caprins quant à eux, sont des brouteurs ("browsers"): arbres et arbustes constituent une grande partie de leur régime (jusqu'à 80p.100) et leurs besoins d'entretien et de production peuvent être satisfaits par un régime purement ligneux (LE HOUEROU, 1980). Ainsi, ils prédominent souvent dans les régions où les conditions d'élevage sont difficiles.

Dans ces zones, les éleveurs sont très fréquemment confrontés au problème du surpâturage. C'est notamment le cas au Zimbabwe où la très forte pression de pâturage associée à la nature semi-aride des terres du pays a conduit à une réduction importante de la production herbacée, réduction aggravée par les deux sécheresses de 1990-1991 et 1991-1992. Dans ces conditions, les ligneux deviennent la principale source de fourrages des ruminants.

Pour faire face au problème de l'affouragement durant la saison sèche, Agritex (structure de vulgarisation du ministère zimbabwéen de l'agriculture), en collaboration avec des instituts de coopération français ou allemands, a mis en place des "grazing schemes", pâturage commun divisé en 5 ou 6 enclos, géré au niveau du village par le conseiller agricole. Agritex indique une capacité de charge limite, mais leur calcul n'est fondé que sur la seule strate herbacée. Les ligneux ont une importance cruciale dans le régime alimentaire des caprins, il serait donc opportun d'intégrer la ressource ligneuse pour une évaluation plus précise de la capacité de charge des pâturages.

Ce calcul comprend plusieurs étapes. Il faut tout d'abord, à l'échelle d'une zone d'étude, choisir des surfaces témoins et en décrire le peuplement ligneux. Il est ensuite nécessaire d'évaluer la production fourragère (souvent seule la biomasse foliaire est prise en compte), et sa répartition au cours de l'année. Dans un troisième temps interviennent les animaux: l'étude de leur comportement alimentaire permet de connaître les quantités de fourrages ligneux réellement utilisées dans les conditions d'exploitation considérées. La synthèse de ces données, confrontée aux besoins des animaux conduit à proposer une capacité de charge du pâturage intégrant la ressource ligneuse.

Notre travail s'inscrit dans cette démarche générale, mais s'est limité à l'étude de deux points précis de ce long processus. D'une part l'appétibilité pour les caprins d'une quarantaine d'espèces ligneuses a été testée, afin d'aboutir à une classification de ces espèces appréciées; seuls les chèvres ont été prises en considération, car ce sont elles qui exploitent majoritairement les

ligneux, (des résultats sur les bovins apparaissent dans FRITZ et al., 1994, et dans DUCORNEZ, 1994). D'autre part, la lourdeur des calculs classiques de biomasse, nous a conduit à mettre au point une méthode d'évaluation rapide de la biomasse foliaire des ligneux.

Cette recherche s'intègre dans le projet "Appui à l'élevage caprin en zones communales zimbabwéennes" dirigé par J. Gauthier (CIRAD-EMVT Zimbabwe) et est complémentaire du projet d'H. Fritz "Ecologie comparée herbivores sauvages/domestiques au Zimbabwe", dont l'un des volets a pour but d'appréhender l'importance des ligneux dans le régime alimentaire des différentes espèces d'ongulés (S. Duornez, 1994, Mémoire de DESS).

Dans ce document est d'abord présenté le cadre de l'étude, ainsi qu'une synthèse des recherches effectuées en Afrique australe sur ces deux thèmes. Dans une seconde partie, sont exposés nos propres travaux sur l'appétibilité, puis sur la biomasse.

## ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Cette partie s'articule en deux thèmes: (1) une rapide présentation du Zimbabwe, cadre général de l'étude; (2) une synthèse des travaux réalisés sur les ligneux en Afrique australe, et plus particulièrement au Zimbabwe.

### I. PRESENTATION DU ZIMBABWE

Anciennement Rhodésie du sud, puis Rhodésie, le Zimbabwe a acquis son indépendance en 1980. Depuis, cette république est présidée par Robert Mugabe.

#### A. MILIEU NATUREL

##### 1. GEOGRAPHIE

###### a. du pays

Le Zimbabwe est un Etat d'Afrique australe de 390.000 km<sup>2</sup> situé entre 15°30 et 22°30 de latitude Sud et 25°00 et 33°10 de longitude Est.

Le pays comprend huit provinces : Manicaland, Mashonaland central, Est et Ouest, Masvingo, Midlands, Matebeland Nord et Sud; plus la capitale, Harare. Ces provinces sont découpées en districts, eux-mêmes subdivisés en cantons et en villages.

Le relief est dominé par deux grandes formations :

- un plateau, occupant la majorité du pays. L'altitude le décompose en trois régions naturelles : le "high veld" (1.200-1.500 m), plateau central s'étendant du sud-ouest au nord-est sur 650 km de long et 80 km de large; il coupe en deux le "middle veld" (600-1.200 m), plateau moyen descendant vers les fleuves du Zambèze au nord et Limpopo au sud, et se terminant par le bas plateau "low veld" (<600 m).

- une chaîne montagneuse granitique, formant sur près de 350 km la frontière nord-est du pays avec le Mozambique. Le point culminant est le mont Inyangani (2.590 m).

###### b. du site d'étude

Le projet a été réalisée dans la province de Masvingo, sur la ferme expérimentale du "French Goat Project" (22 ha) située entre Nyika et Bikita, à une altitude comprise entre 900 et 1200m.

## 2. CLIMAT

### a. du pays

L'altitude omniprésente rafraîchit le climat tropical continental sévissant normalement sous ces latitudes. On distingue cependant les trois saisons classiques :

-saison des pluies (novembre-mars, pic en décembre-janvier) : la moyenne des précipitations est de 662 mm d'eau avec de fortes variations inter-annuelles. Les dernières sécheresses remontent à 1990/1991 et 1991/92.

-saison sèche fraîche (avril- juillet), caractérisée par des températures froides (la température nocturne peut notamment descendre en dessous de 0°C), et quelques précipitations tardives (avril).

-saison sèche chaude (août-octobre) avec des températures maximales en octobre (jusqu'à 45°C).

Le pays est divisé en cinq régions naturelles (cf fig.2), essentiellement définies selon les précipitations:

- zone I: plus de 1000mm/an; région d'altitude et de forêts, où l'on trouve cultures maraîchères, thé et café;

- zone II: de 800 à 1000mm/an; région à bon potentiel agricole, où la culture et l'élevage sont intensifs;

- zone III: de 650 à 800mm/an; températures élevées, pluies brutales et sécheresses fréquentes. C'est une région agricole semi-intensive, les cultures sont associées à l'élevage et à la production de fourrages.

- zone IV: de 450 à 650mm/an; sécheresses sévères. L'élevage est extensif.

- zone V: moins de 450mm/an. L'élevage extensif et les ranchs de gibier sont les seules activités viables.

### b. du site d'étude

Le district de Bikita s'étend sur trois régions naturelles: III (20p.100 des superficies), IV (40p.100) et V (40p.100) (LIAGRE, 1990); la ferme se situe dans la zone III (REISS et HARRISON, 1990), au coeur d'une zone communale.

Pendant les sécheresses de 90-91 et 91-92, la pluviométrie a été respectivement de 450mm et 220mm! Tandis que l'année suivante, elle a atteint 870mm.

## 3. LA VEGETATION

### a. Du pays

Le sujet du stage portant sur les ligneux utilisés par les caprins, ce paragraphe sur les grands types de végétation du Zimbabwe est développé assez précisément.

La répartition des différents types de végétations naturelles est liée à l'altitude, aux températures, aux précipitations et à la nature des sols.

Cinq catégories principales de végétation sont présentes dans le pays (figure 1) : le Miombo, les formations à Mopane, les associations d'acacias, les savanes mixtes arbres-arbustes et la forêt claire à *Baikiaea plurijuga*.

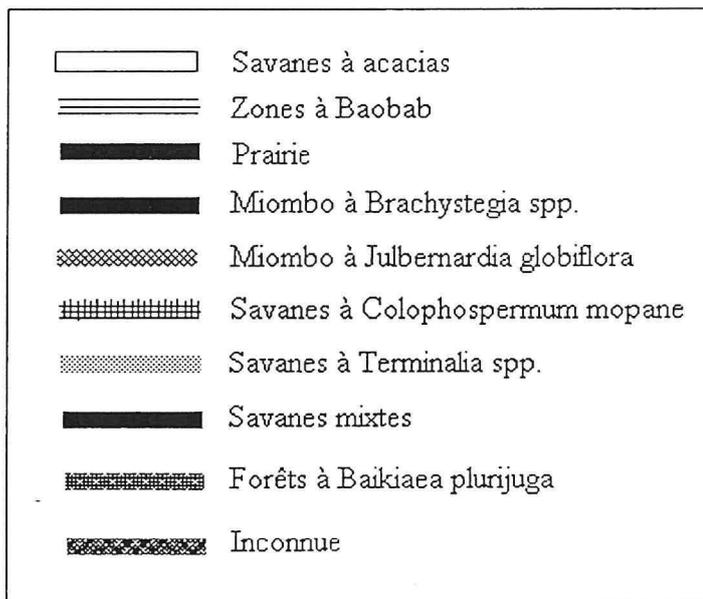
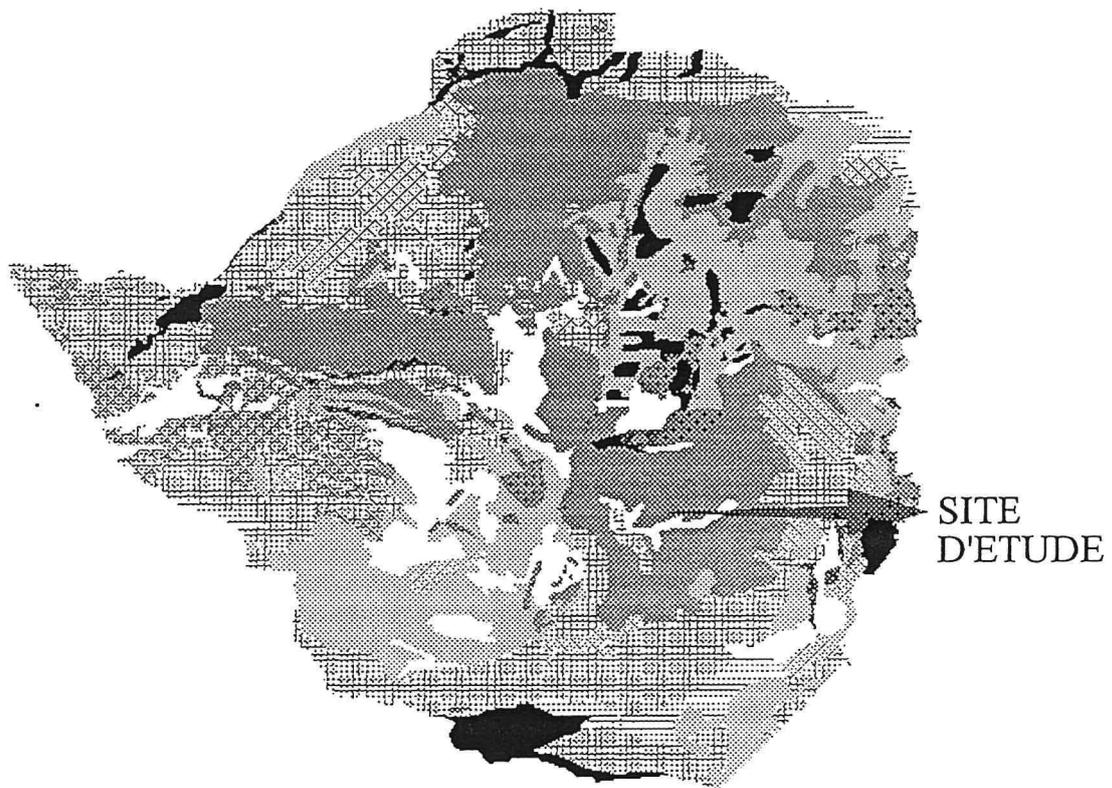


Figure 1 : Les types de végétations ligneuses du Zimbabwe (d'après ERSI).

### a1. Les formations à Miombo

Sur l'ensemble du haut plateau central, la végétation typiquement rencontrée est le "Miombo". Cette association est définie comme une forêt claire d'arbres caducifoliés à une seule strate et à frondaison légère ; les arbres atteignent généralement de 10 à 15 m et appartiennent essentiellement à la famille des légumineuses des genres *Brachystegia* et *Julbernardia*. Elle présente parfois une strate arbustive épaisse et une couverture en surface composée de graminées et de "phorbes" qui atteignent un mètre environ (Lawton, 1980).

Dans cette formation, la pluviométrie varie entre 700 et 1500 mm et les sols vont des sables granitiques aux argiles dérivées du basalte et de la dolérite. A l'extrémité inférieure du spectre, la végétation est dominée par *Brachystegia boehmii* et par une riche variété d'autres espèces d'arbres et d'arbustes. C'est une forêt claire comportant une couche herbacée bien développée. Lorsque la pluviométrie est plus élevée, *Brachystegia spiciformis* domine avec *Julbernardia globiflora* et d'autres arbres poussant plus haut. La végétation est une forêt claire, présentant quelques arbustes et une couverture herbacée éparse. Lorsque la nappe d'eau souterraine est haute, on observe une forêt claire plus ouverte où domine habituellement l'espèce *Parinari curatellifolia*.

La plus grande partie de la région a été défrichée de la végétation ligneuse, soit totalement pour permettre la production de cultures arables, soit partiellement et maintenue en savane ouverte ou sous forme de parc en ranch pour l'élevage de bovins.

En général, les fourrages ligneux produits dans la région du Miombo sont moins appréciés par les ongulés et constituent une source de nourriture moins importante par rapport aux types de végétation plus secs (Walker, 1980).

Le nombre d'espèces ligneuses présentes dans la zone est très élevée et celles qui figurent ci-dessous (Walker, 1980) ne constituent qu'un échantillon comprenant les espèces les plus abondantes et quelques espèces appréciées (les espèces soulignées sont celles rencontrées sur la ferme de Bikita).

Espèces ligneuses : *Brachystegia spiciformis*, *B.boehmii*, *B.glaucescens*, *Julbernardia globiflora*, *Parinari curatellifolia*, *Diplorhynchus condylocarpon*, *Combretum molle*, *Cussonia spicata*, *Uapaca kirkiana*, *Monotes glaber*, *Faurea saligna*, *Albizia antunesiana*, *Strychnos spinosa*, *Vangueria infausta*.

### a2. Les formations à Mopane

La végétation rencontrée dans les zones d'altitude moyenne est une alternance de zones à Miombo plus clair et de formations à Mopane (*Colophospermum mopane*). Ces dernières sont généralement caractérisées par leur grande monospécificité en ligneux et par la faiblesse du tapis herbacé sous-jacent, liée à la pauvreté du sol ou à un drainage trop rapide.

Elles existent sous deux formes principales, à savoir les forêts claires et les savanes arborées et arbustives. La forêt claire bien développée ne se retrouve que dans la vallée plus humide du Zambèze (700 mm environ) et dans d'autres petites poches isolées. Elles se forment quasi-uniquement sur les sols à texture lourde, les quelques exceptions étant les sols sablonneux recouvrant des argiles, ou bien des sols salés et sablonneux (Walker, 1980).

Le "Mopane veld" (comme on l'appelle en Afrique australe) est généralement considéré comme pouvant fournir un fourrage ligneux important, mais dont la production est souvent faible pour les bovins. Les feuilles de *Colophospermum mopane* ont une teneur en tanin très élevée lorsqu'elles sont jeunes et la plupart des ongulés s'en détournent. En revanche, les feuilles sèches sont appréciées et sont mangées à même le sol par les herbivores (Walker, 1980).

Les principales espèces ligneuses de cette végétation sont les suivantes : *C.mopane*, *Acacia nigrescens*, *A.tortilis*, *Combretum apiculatum*, *Kirkia acuminata*, *Dalbergia melanoxylon*, *Commiphora africana*, *Boscia albitrunca*, *B.foetida*, *Cissus cornifolia*, *Dichrostachys cinerea*, *Ximenia americana*, *Terminalia prunoïdes*, *Grewia bicolor*, *G.flavescens*, *G.monticola*.

### a3. Les associations d'acacias

Dans le centre et le sud-ouest du Zimbabwe, on rencontre des zones de savanes

ouvertes constituées d'associations de diverses espèces d'acacias, que l'on décrit sous le nom de "thornveld". Le thornveld se rencontre sur les argiles et les argiles limoneuses dérivées de roches basiques, recevant une pluviométrie de 500 à 600 mm. Cette association à acacias peut apparaître localement sous forme de mosaïques, sur les sols enrichis, notamment les anciens champs cultivés. Le tapis herbacé y est souvent abondant et de composition botanique très variable d'une région à l'autre. Il existe de nombreuses espèces *Acacia*, mais ne sont présentées ci-dessous que les espèces dominantes, suivies des espèces associées les plus importantes : *Acacia nilotica*, *A.karoo*, *A.gerrardii*, *A.rehmanianna*, *Combretum apiculatum*, *C.hereroense*, *Ormocarpum trichocarpum*, *Sclerocarya caffra*, *Ziziphus mucronata*, *Grewia sp.*

#### a4. Les savanes mixtes

Il s'agit de type de végétation relativement hétérogène. On les retrouve sur des sols allant des sols sablonneux à sablonneux-limoneux, à des altitudes plus élevées que la savane aride formée d'arbres et d'arbustes (<700 mm); la pluviométrie varie entre 450 et 750 mm. On reconnaît deux sous-divisions distinctes.

Tout d'abord, la savane à *Combretum apiculatum* que l'on trouve sur des sols superficiels et rocailleux, où les petits arbres denses et uniformes de l'espèce *C.apiculatum* sont dominants. Cette savane occupe les lisières des régions plus arides et moins élevées ; dans ce sens elle s'intègre plus étroitement dans les régions du "low veld" et les formations à Mopane. Les principales espèces boisées sont les suivantes : *Combretum apiculatum*, *A.caffra*, *Dichrostachys cinerea*, *Ximenia caffra*, *Lanea discolor*, *Kirkia acuminata*, *Sclerocarya caffra*.

D'autre part, cette catégorie de végétation peut apparaître sous la forme d'un amalgame d'associations très distinctes : formations à *Terminalia*, à *Burkea* ou à *Combretum*. Elle ne se forme cependant que sur les sols allant des sols sablonneux aux sols sablonneux-limoneux. Le nombre d'espèces ligneuses est très élevée et plus d'une centaine peuvent être reconnues comme importantes. D'après Walker (1980), les espèces les plus marquantes sont les suivantes : *Terminalia sericea*, *Burkea africana*, *Sclerocarya caffra*, *Combretum molle*, *C.apiculatum*, *C.zeyheri*, *Ochna pulchra*, *Grewia spp.*, *Peltophorum africanum*, *Pterocarpus rotundifolia*, *Maytenus senegalensis*, *Pseudolachnostylis maprouneifolia*, *Diospyros lycioides*.

#### a5. la forêt claire à *Baikiaea plurijuga*

*B.plurijuga* est l'arbre dominant des dépôts sablonneux éoliens profonds du Kalahari qui couvraient notamment des zones étendues de l'ouest du Zimbabwe pendant le Pleistocène. La pluviométrie varie de 600 à 1000 mm. Les forêts claires forment une mosaïque avec des bandes de maquis. Les sols sablonneux profonds et la pluviométrie relativement élevée ont formé une forêt claire resserrée avec une frondaison d'une hauteur de 10 à 15 m. Les couches herbacées et arbustives sont donc considérablement réduites. *B.plurijuga* est utilisé en temps qu'arbre à bois d'oeuvre (c'est le "tek rhodésien") mais n'est pas apprécié. Ces forêts n'ont donc qu'une valeur limitée en temps que source de fourrages ligneux et servent surtout à assurer de l'ombre aux herbivores.

Des bandes de maquis mixte contenant une grande variété d'espèces ligneuses se forment dans les régions où la forêt claire ne peut se développer (profondeur du sol) et dans les zones où la forêt claire a été supprimée (défrichement ou action du feu). A l'inverse de la forêt claire, les régions de maquis constituent une importante source de fourrages ligneux et la valeur des espèces ligneuses y est renforcée du fait que les graminées poussant sur ces sols sont particulièrement dures et ont un goût désagréable. Les espèces ligneuses les plus importantes sont d'après Walker (1980): *Terminalia sericea*, *Baphia massaiensis*, *Combretum collinum*, *C.zeyheri*, *Bauhinia mecrantha*, *Baikiaea plurijuga*, *Ochna pulchra*, *Erythrophleum africanum*, *Acacia fleckii*, *A.ataxacantha*.

### b. Sur la ferme de Bikita:

La ferme est recouverte à 50 p.100 par une savanne à acacias (espèces dominantes: *A. nilotica*, *A. rehmanniana*, *Dichrostachys cinerea*), à 25 p.100 par une formation de type Miombo (*Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia globiflora*), à 12,5 p.100 par une savanne de *Dodoneae* (*D. viscosa*), et enfin par une formation herbacée (*Digitaria milaniana*, *Perotis patens*) où seules deux espèces ligneuses sont présentes (*Acacia nilotica* et *Rhus longipes*), (RIVIERE,

1987, non publié).

## B. AGRICULTURE ET ELEVAGE

Le Zimbabwe compte 10,4 millions d'habitants (CSO, 1992). 97,6 p.100 sont d'origine africaine, 2 p.100 européenne et 0,4 p.100 asiatique ou métisse (Encyclopedia universalis, 1992).

Les ethnies principales sont les Shona (80 p.100 de la population) et les Ndebele.

Avec un taux de 3,1 p.100, la croissance démographique est l'une des plus fortes d'Afrique.

En 1982, 74 p.100 de la population vivait en zone rurale (55 p.100 en zone communale). Depuis, l'exode rural important vide les campagnes et gonfle les villes, celles-ci ont en effet un taux d'accroissement de 7,2 p.100 par an.

### 1. REGIME FONCIER

Le régime foncier est déterminé par les caractéristiques de sol et de climat, et modifié par le facteur ethnique.

Le climat et la pédologie divisent le pays en cinq régions naturelles (figure 2):

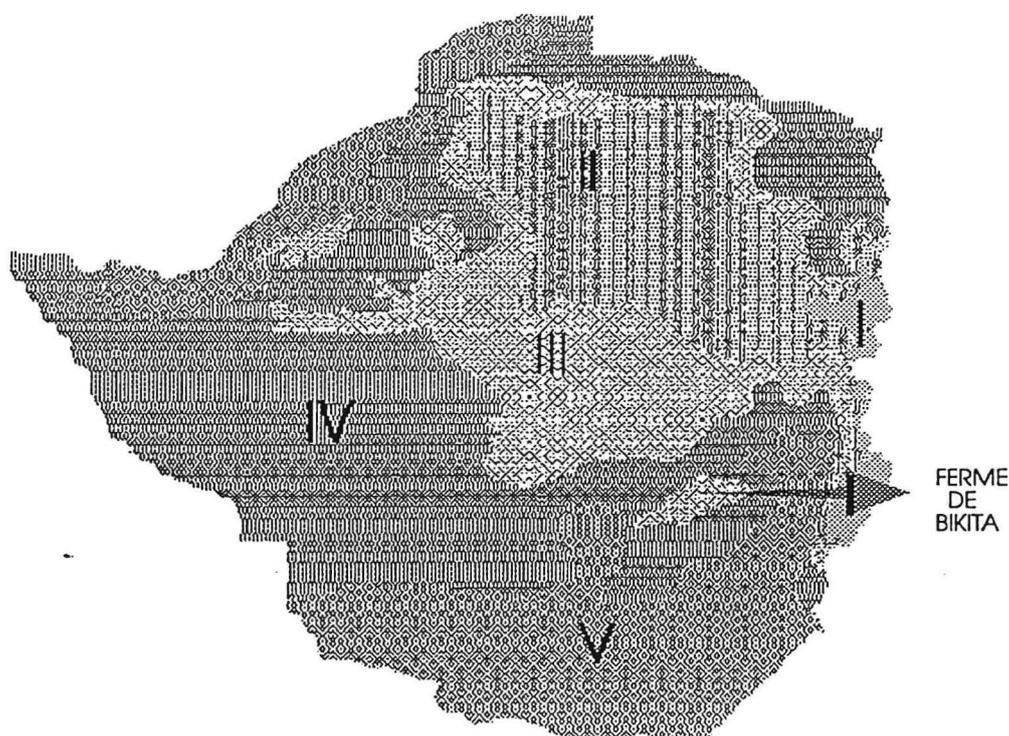


FIGURE 2: Les cinq régions naturelles du Zimbabwe, localisation du site d'étude

Les trois premières régions, aux précipitations moyennes et prévisibles d'une année sur l'autre, sont propices aux cultures intensives de céréales et à l'élevage.

- Les deux dernières zones, aux précipitations plus faibles et irrégulières, n'autorisent qu'une agriculture à faible rendement et un élevage extensif.

Le potentiel productif propre à chaque région est inégalement réparti entre Zimbabweens blancs et noirs. Il se distribue autour de quatre types d'exploitations :

- 4.500 **grandes fermes commerciales** ( 2.000 à 60.000 ha, taille moyenne : 2.500 ha)

occupent près de 40% du territoire, majoritairement sur les hauts plateaux.

Ces anciennes "fermes européennes" sont tenues par des propriétaires blancs. Elles bénéficient d'une organisation et d'un financement efficaces qui leur permettent de produire et de commercialiser la majeure partie du surplus du marché.

Suite à la politique de redistribution des terres, leur nombre tend à diminuer.

- 8.600 **petites fermes commerciales** (moyenne : 124 hectares) occupent 4% du territoire (Statistical Yearbook, 1989), en général dans les régions semi-intensives (III et IV).

Elles correspondent à d'anciennes grandes exploitations commerciales achetées par les africains. Leur nombre et leur taille sont restés constants au cours des dix dernières années.

- Les **zones de réinstallation** sont nées de la politique de redistribution des terres entamée par le gouvernement après l'indépendance en 1980.

Cette réforme foncière consiste à racheter des grandes fermes commerciales pour les redistribuer aux paysans des zones communales.

L'objectif initial était de réinstaller 162.000 familles sur 9 millions d'hectares. Chacune a le droit à 5 hectares de terres cultivables et à une zone de pâturage collectif.

Le gouvernement favorise l'association en coopératives (aide technique, facilités d'emprunts) et vise à développer les cultures commerciales à côté des cultures de subsistance.

Cette politique a contribué à freiner l'exode rural.

- les **zones communales** (anciens "Tribal Trust Lands") se situent majoritairement en régions IV et V, et occupent 42% de la superficie du pays (SIKOSANA, non publié) (cf fig 3).

Elles comprennent de petites exploitations traditionnelles gérées par des fermiers noirs qui orientent de façon quasi-exclusive leur production vers des cultures de subsistance.

■ Z. COMMUNALES

DISTRICT DE BIKITA :

■ Z. COMMERCIALES

■ Z. COMMUNALES

■ Z. DE REINSTALLATION

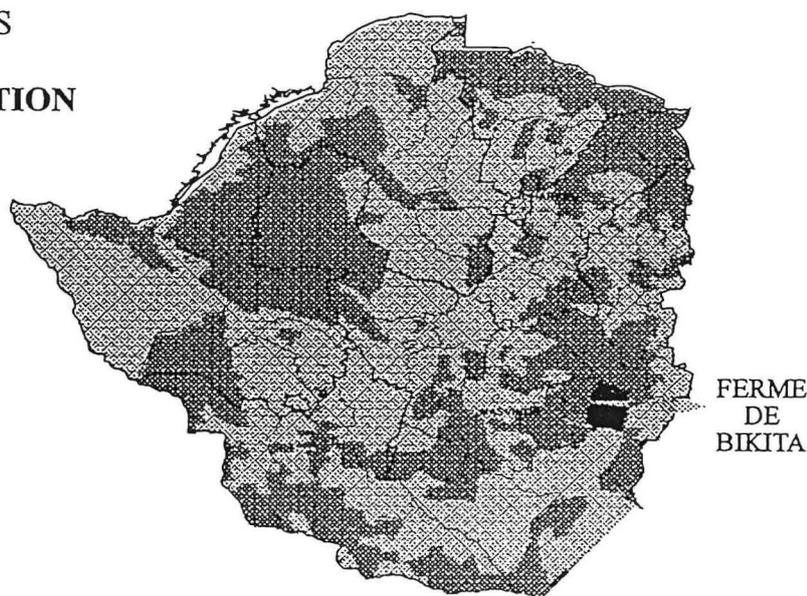


FIGURE 3: Les zones communales du Zimbabwe, localisation du site d'étude

## 2. PRODUCTIONS AGRICOLES

### a. En zones commerciales

L'agriculture est un système de polyculture, avec production de:

- Maïs:

Il constitue la nourriture de base des Noirs. Sa production et son prix sont très contrôlés. Jusqu'en 1991, le prix a été maintenu très bas, si bien que les fermiers commerciaux se sont orientés vers d'autres productions végétales, tel que le tabac.

- Tabac:

Sa production se fait en alternance avec celle du maïs. Elle est considérable, et le Zimbabwe est classé au deuxième rang mondial en ce qui concerne la production de tabac par habitant. La vente se fait essentiellement au niveau du très important marché d'Harare. Les lots achetés sont majoritairement exportés. Seul 10 p.100 de la production nationale est transformée sur place en cigarettes, la production de cigares étant nulle depuis une dizaine d'années.

- Coton:

La production nationale ne représente pas en elle-même un élément capital dans l'agriculture commerciale. Cependant, elle alimente une industrie textile cotonnière bien développée et tournée vers l'exportation, et par ce biais constitue une des productions importantes du Zimbabwe.

- Canne à sucre (sur le "low veld")
- Soja (nord du pays)
- Blé
- Café et thé (sur les reliefs montagneux de l'est du pays)
- Fruits et légumes

### b. En zones communales

L'agriculture est principalement vivrière:

- Maïs:

Les paysans en gardent une partie pour la consommation familiale et vendent tout le reste; le prix des semences étant très faibles, ils en rachètent chaque année.

- Sorgho:

Cette culture, conseillée en zones IV et V par les organismes d'état chargés du développement de l'agriculture (Agritex par exemple) en raison de sa bonne résistance aux faibles précipitations, a du mal à s'implanter du fait de la difficulté de son décorticage manuel.

- Rapoko (*Pennisetum typhoides*), cette céréale sert à la fabrication de la bière traditionnelle.

- Munga (*Eleusine coracana*) (céréale)

Bien que l'agriculture soit essentiellement vivrière, on observe tout de même un accroissement des productions pour la vente:

- La culture de légumineuses telle que l'arachide a été développée en rotation avec celle de maïs par exemple, pour lutter contre l'appauvrissement des sols.

- Le tournesol

- Le coton

- Le tabac dans les meilleures zones.

### **3. ELEVAGE**

#### **a. En zones commerciales**

##### **a1 . Les bovins**

Cet élevage consiste essentiellement en production de viande bovine. Les races bouchères généralement rencontrées sont:

- des races taurines exotiques européennes: Simmental, Sussex, Hereford, Aberdeen-Angus
- des races exotiques africaines: Afrikander
- des races exotiques américaines: Brahman
- quelques races locales dans les zones difficiles: Mashona, Nkone et Tuli.

L'importance économique de cet élevage est considérable. En 1989, le cheptel des bovins de boucherie était de 2,3 millions de têtes. Le volume d'abatage représentait, en 1992, 377.600 têtes pour une valeur de 448 millions de \$Z (CSO, 1993). Cette production de viande est largement exportée vers la CEE (approximativement 10.000 tonnes par an), (CSO,1993).

On rencontre également dans les zones les plus favorisées quelques grandes exploitations laitières avec des animaux de race Holstein. L'effectif de bovins laitiers en zone commerciale est de 100.000 (Encyclopedia of Zimbabwe, 1988). La production laitière s'élevait en 1993 à 205.000 tonnes, dont 68 000 consommées telles quelles, les surplus sont transformés en poudre de lait (137.000 tonnes en 1993) (CSO, 1993).

##### **a2. Les petits ruminants**

Ils ont une faible importance (en têtes, on trouve 2p.100 -soit 35000- chèvres et 5p.100 de moutons parmi le bétail commercial) (SIKOSANA, non publié).

Les races caprines sont principalement exotiques: Boer, Saanen, Angora.

#### **b. En zones communales**

##### **b1. Les bovins**

L'effectif dans ces zones est de 4,6 millions. Les races rencontrées (Mashona, Nkone et Tuli) sont des races locales, de petit format, mais relativement bien adaptées aux conditions difficiles de ces régions.

Dans ces zones, l'élevage bovin n'a pas d'objectif commercial, il est destiné à l'autoconsommation, mais a surtout un rôle économique et social important.

##### **b2. Les caprins**

#### **\* DISTRIBUTION ET RACES**

Le cheptel zimbabwéen compte environ 2.325.000 chèvres, dont 98p.100 sont trouvés dans les aires communales. De plus, les caprins représentent 32p.100 du bétail des zones communales (SIKOSANA, non publié).

La grande majorité sont de type "Chèvre Naine de l'Afrique de l'Est" (RIVIERE, 1994), le plus petit format, trouvé dans l'est et le centre du pays, est généralement appelé "Mashona", et le plus grand, dans le sud, "Matabele".

Dans le sud-ouest du pays (Matabeland), où la pluviométrie est très faible, et peu de cultures sont possibles, les troupeaux caprins comptent de 20 à 200 animaux par famille. Dans le reste des zones communales, les systèmes de production sont mixtes (cultures + élevage) et les troupeaux familiaux plus petits: 2 à 20 chèvres (MONICAT, cité par RIVIERE, 1994).

Dans le district de Bikita, 48 à 60 p.100 des familles possèdent des chèvres, avec en

moyenne 6 têtes par troupeau (LIAGRE, 1990).

Les caprins sont donc répandus dans tout le pays, avec une forte concentration dans les zones les plus sèches (cf tableau I).

TABLEAU I : Distribution des caprins dans les petites exploitations, au Zimbabwe, en 1988/89

PROVINCE	Zone communale	Fermes à petite échelle	Zone de redistribution des terres	Total
Mashonaland Est	99 000	5 000	7000	111 000
Mashonaland Ouest	72 000	3 000	2000	77 000
Mataberland Nord	359 000	6 000	3 000	368 000
Mataberland Sud	341 000	2 000	1 000	344 000
Manicaland	426 000	8 000	40 000	474 000
Midlands	452 000	4 000	21 000	477 000
<b>Masvingo</b>	<b>369 000</b>	<b>14 000</b>	<b>10 000</b>	<b>392 000</b>
Mashonaland Centre	85 000	6 000	3 000	93 000
Total 1988/89	2 203 000	46 000	86 000	2 336 000
1897/88	2 064 000	57 000	170 000	2 291 000
1986/87	2 007 000	50 000	83 000	2 140 000
1985/86	1 860 000	49 000	56 000	1 965 000

Source: SIKOSANA, non publié

#### \* ROLES

- Comme souvent en Afrique, la chèvre représente une **épargne**, plus facile à vendre ou à échanger que le bovin.

- Elle est **autoconsommée**, avec des niveaux variables suivant la taille du troupeau. Cette autoconsommation peut être élevée au moment de Noël ou de la visite du "citadin" qui fait vivre la famille l'année durant.

- Elle a une **fonction sociale** : paiement de dots, abattage pour les funérailles.

- Elle est **vendue au voisinage** pour payer les frais de scolarité trimestriels, ou la nourriture dans les mois de soudure qui précèdent les récoltes de l'année.

- Elle fournit du **fumier** pour le jardin potager, alors que le fumier des bovins est utilisé pour les grandes cultures.

- Les pertes (mortalité, vols...) peuvent être importantes et d'origine variée suivant les zones et les saisons.

#### \* MODE D'ELEVAGE

Le gardiennage des animaux pose le problème de la disponibilité de la main-d'oeuvre: la plupart des enfants sont scolarisés, les travaux des champs monopolisent la force de travail et la pratique de regroupement du bétail sous la conduite d'un berger ne s'applique pas aux chèvres. Chaque famille doit donc assurer individuellement la conduite du faible effectif qu'elle possède, dans une zone de parcours de plus en plus limitée par l'extension des surfaces cultivées

et l'augmentation de la densité de la population qui vit en habitat dispersé. Les animaux, les caprins en particulier, errent souvent librement autour du village, ils ne profitent donc que d'un temps de pâture très limité pendant la période de culture.

Les jeunes sont lâchés dans le village pendant la journée et sont enfermés dans le kraal avec leurs mères pour la nuit. Ces kraals sont des enclos conçus, avant tout, pour protéger des prédateurs (babouins, hyène, chacals...)

Aucun complément alimentaire n'est distribué.

Les zones de parcours sont plus ou moins dégradées; manifestement le taux de charge est trop élevé (REISS et HARRISON, 1990). La plupart des paysans comptent sur les pâturages clôturés pour nourrir leur bétail. Pour qu'un tel système soit efficace, il est nécessaire qu'ils soient capables de prévoir la capacité de charge, et donc qu'ils connaissent la composition des peuplements végétaux, ainsi que la gestion correcte de ces associations végétales.

### **b3. Autres espèces**

L'effectif des ovins s'élève à 600.000 têtes. Ils ont le même rôle social et économique que les caprins.

L'âne est un animal très répandu en zones communales, il sert notamment au transport.

## **II. APERÇU DES RECHERCHES EFFECTUEES SUR L'APPETIBILITE DES LIGNEUX PAR LES CAPRINS EN AFRIQUE AUSTRALE**

L'appétibilité d'un aliment est l'ensemble des caractéristiques physiques (port de la plante, piquants...) et chimiques (odeur, goût...) qui agissent sur l'appétence de l'animal, (l'appétence est la stimulation à satisfaire la faim, le désir de nourriture). Cette définition (INRA 1988) est qualitative. Sur parcours, on s'efforce de quantifier l'appétibilité relative des espèces, il ne faut alors comparer que des espèces dont la disponibilité et l'accessibilité sont proches. Cette appétibilité relative s'identifie assez bien à l'acceptabilité absolue (cf définition chap.I.B.1 de la deuxième partie), à partir de laquelle seront définies les préférences alimentaires dans l'étude expérimentale.

L'acceptabilité est une mesure de l'attractivité d'une plante, indépendamment de sa densité sur le site (OWEN-SMITH et COOPER, 1985). Elle permet de quantifier l'appétibilité.

Par la suite, le terme "appétibilité" sera donc employé, sauf lorsqu'il s'agira d'une quantification, on parlera alors d'acceptabilité.

Ce chapitre décrit la part des ligneux dans l'alimentation des chèvres, les facteurs influençant l'appétibilité de ces plantes, et enfin les espèces les plus appréciées en Afrique australe.

### **A. ALIMENTATION LIGNEUSE DES CAPRINS**

Les chèvres peuvent être jusqu'à 70p.100 brouteurs et 30p.100 paiseurs (SHUMBA, 1992). Elles passent effectivement une grande partie de leur activité nutritive à consommer des ligneux, 45p.100 de ce temps en moyenne selon OWEN-SMITH et COOPER, 1987, jusqu'à 71p.100 durant la saison de transition (mars à juin) (SIBANDA, 1984, non publié). Selon ce même auteur, la part du temps passé sur des arbres varie selon la saison (qui influence le disponible herbacé et ligneux) et l'état physiologique de l'animal (état de gestation ou non) (cf tableau II).

TABLEAU II : Décomposition de l'activité alimentaire (en pourcentage du temps total d'alimentation) des caprins, selon leur état physiologique et la saison

ACTIVITE	SAISON					
	pluvieuse		de transition		sèche	
	NG/ T	G/A	NG/ T	G/A	NG/ T	G/A
alimentation sur l'arbre	36,8	38,7	40	49	30	25
consommation de feuilles, fruits et fleurs, tombés au sol	0	0	5	5	19	30
consommation d'herbacées	22	39	19	22	24	27
PART de la consommation de ligneux dans d'alimentation	62,6	49,8	70,3	71	67,1	67,1

NG/T: Non gestantes-taries

G/A: Gestantes-allaitantes

Source: SIBANDA, 1984, non publié

On remarque, dans ce tableau, l'importance de la consommation de feuilles, fruits et fleurs tombés au sol, en saison sèche.

NYAMANGARA et NDLOVU, 1990, sont arrivés à des résultats contradictoires, avec une activité alimentaire majoritairement de paaisseur en toutes saisons (68 à 80p.100 du temps d'ingestion). Mais ils précisent que ceci s'explique par la faible quantité de ligneux disponibles dans la zone de leur étude.

## B. SELECTION ET APPETIBILITE DES FOURRAGES LIGNEUX POUR LES CAPRINS

### 1. SELECTION PAR LES CAPRINS

Un parcours comporte des fourrages hétérogènes, parfois abondants, mais déséquilibrés au niveau nutritionnel. Une certaine disponibilité fourragère sur parcours n'a pas une valeur en soi. La chèvre n'utilise en effet qu'une partie de ce disponible, ce pourcentage d'utilisation dépendant de la sélection qu'effectue l'animal, elle-même liée aux préférences alimentaires de celui-ci.

Ainsi, NYAMANGARA et NDLOVU, 1990, ont montré que même si la qualité nutritive des fourrages tropicaux diminuait à partir de la fin de la saison de croissance (faible teneur en protéines et forte lignification), le régime sélectionné par l'animal contient en toutes saisons une forte teneur protéique (>13p.100) et a une bonne digestibilité (>60p.100).

La sélection effectuée par les caprins est aussi liée à la pression de pâturage (celle-ci est définie par le rapport de la biomasse animale sur la biomasse végétale). En effet, plus celle-ci est forte et plus le temps de pâture est court, moins la sélection est importante.

## 2. APPETIBILITE POUR LES CAPRINS

### DEFINITION

Sur parcours, l'appétibilité relative peut être évaluée par deux types de mesures (OWEN-SMITH et COOPER, 1985):

- **l'acceptabilité par plante (AP)** est définie pour une période d'observation d'une heure comme suit:

$$AP = \frac{\text{Nombre de plantes d'une espèce consommées}}{\text{Nombre de plantes de cette même espèce disponibles à portée de cou de l'animal}}$$

- **l'acceptabilité par site (AS)** est, quant à elle, définie pour une journée d'observation:

$$AS = \frac{\text{Nombre d'intervalles de 30mn où telle espèce a été consommée}}{\text{Nombre d'intervalles de 30mn où cette espèce est disponible dans un rayon de 10m centré sur l'animal}}$$

Chaque intervalle de 30mn étant considéré comme un site différent.

Dans notre protocole, l'acceptabilité n'est pas étudiée sur parcours (c'est-à-dire en fonction de l'environnement végétal de l'animal), mais dans un espace limité à une chèvrerie et par rapport à des rameaux ligneux présentés à l'animal.

### FACTEURS INFLUENCANT L'APPETIBILITE

L'appétibilité des fourrages par les caprins est influencée par de nombreux facteurs (OWEN-SMITH et COOPER, 1987):

#### - **Nutriments et métabolites secondaires**

L'appétibilité dépend de la teneur foliaire en tanins, avec un seuil à 5p.100, pratiquement toutes plantes le dépassant n'étant pas appréciées durant la saison des pluies (sauf *Euclea natalensis* et *Ochna pulchra*). *Peltophorum africanum* n'est pas apprécié malgré sa faible teneur en tanins (OWEN-SMITH et COOPER, 1985); ceci prouve l'influence d'autres facteurs sur l'appétibilité. Cette dernière est faiblement liée à la teneur en azote, phosphore, cations, composants de fibres et autres métabolites secondaires (COOPER et OWEN-SMITH, 1985).

#### - **Structures physiques**, telles que les épines, la fermeté des feuilles.

Les épines ont pour effet de diminuer la taille des bouchées -cette réduction étant plus efficace pour des feuilles de petite taille- (dans le cas de *Ziziphus mucronata* par exemple, les chèvres ne mangent qu'une feuille à la fois (COOPER et OWEN-SMITH, 1986). Par conséquent, elles augmentent le temps par unité de nourriture ingérée. Donc en limitant le taux d'ingestion, les épines modifient l'appétibilité relative de ces espèces. Ceci explique que les espèces épineuses ne sont pas plus appréciées que les plantes non épineuses, malgré la grande valeur nutritive de leurs feuilles (cas des *Acacia* notamment).

Signalons aussi que les espèces à épines en crochets ont tendance à montrer une plus faible appétibilité que les espèces à épines droites offrant un taux d'ingestion similaire, ces épine-crochets entraînent en effet une diminution du taux de bouchées en accrochant lèvres, langue et longues oreilles tombantes des chèvres (COOPER et OWEN-SMITH, 1986).

- **Stade de croissance de la plante et de ses feuilles**
- **Nutriments du sol et leur faible disponibilité**
- **Antécédents de défoliation**
- **Disponibilité de la plante**

### 3. LES ESPECES APPETEES PAR LES CAPRINS

#### a. Appétibilité et valeur nutritive

Les teneurs en protéines brutes et en NDF (Neutral Detergent Fiber) indiquent la qualité de la biomasse, généralement la qualité de l'aliment s'améliore avec l'augmentation de la teneur en protéines brutes et la diminution en NDF.

Sur cette base, les ligneux indigènes appréciés (*Combretum* spp., *Acacia* spp., *Kirkia acuminata*) ont une bonne valeur nutritive: feuilles et gousses ont une forte teneur en protéines brutes et une teneur faible à moyenne en NDF, ces paramètres sont cependant très variables et s'échelonnent respectivement de 7 à 28p.100 et de 11 à 64p.100. Les feuilles d'*Acacia nilotica* et de *Dichrostachys cinerea* ont une plus forte teneur en protéines brutes et une plus faible teneur en NDF que leurs gousses (SIBANDA et NDLOVU, 1992).

Ces auteurs ont aussi notés que les caprins consomment plutôt les feuilles en saison des pluies (décembre à mars) et les gousses en saison sèche (juin à septembre) (cf tableau III).

TABLEAU III : Organes ligneux consommés par les caprins sur une année

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
<i>Acacia nilotica</i>	F	F	F			G	G	G	G			F
<i>Acacia tortilis</i>	F	F	F			G	G	G	G			F
<i>Dichrostachys cinerea</i>	F	F	F	F	F	G	G	G	G			F

G : Gousses; F : Feuilles

Source : SIBANDA et NDLOVU, 1992

#### b. Classification des espèces appréciées

SIBANDA, 1984, (non publié), lors d'une étude à Matopos Research Station, s'est attaché au temps de consommation des ligneux par les caprins. Bien que ce temps ne soit pas directement lié à la masse ingérée (il faut par exemple plus de temps pour ingérer des feuilles d'*Acacia nilotica* que la même masse de feuilles de *Ziziphus mucronata* -observation personnelle-, il donne une idée de l'appétibilité. Les résultats, synthétisés dans le tableau IV, révèlent que ces animaux passent en moyenne près d'un tiers (de 12 à 49p.100) de leur activité de brouteur sur le genre *Acacia*, avec une durée supérieure en période de transition (fin de la saison des pluies - début de la saison sèche), et inférieure en saison des pluies (mais néanmoins toujours un quart du temps de l'activité de brouteur).

TABLEAU IV : Variation de l'appétibilité des ligneux selon la saison, exprimée en pourcentage du temps de consommation de l'espèce par rapport au temps total d'alimentation sur les ligneux

Espèces	Fréquence sur le site (p.100)	Saison			Moyenne
		pluvieuse	de transition	sèche	
<i>Acacia karroo</i>	17	7	14	20	14
<i>Acacia gerrardii</i>	11	3	4	3	3
<i>Maytenus senegalensis</i>	8	4	2	6	4
<i>Acacia nilotica</i>	6	12	16	9	12
<i>Acacia robusta</i>	3	3	4	2	3
<i>Euclea divinorum</i>	3	0	0	0	0
<i>Rhus lancea</i>	3	2	4	3	3
<i>Securinega virosa</i>	2	31	10	2	14
<i>Ziziphus mucronata</i>	2	9	8	6	8
<i>Carissa edulis</i>	1	2	4	20	9
<i>Dichrostachys cinerea</i>	1	7	10	1	6
	1	2	6	16	8
<i>Asparagus larycinus</i> l					
<i>Barleria kirkii</i>	<1	1	1	2	2
<i>Lippia javanica</i>	<1	2	6	8	5
Autres espèces *	17	15	11	2	9

\* *Albizia amara*, *Combretum apiculatum*, *Commiphora mossambicensis*, *Diospyros lycioides*, *Dombeya rotundifolia*, *Elephantorrhiza goetzei*, *Grewia bicolor*, *Grewia flavescens*, *Peltophorum africanum*, *Steganotaenia araliacea* et *Ximenia americana*

Source : SIBANDA, 1984, non publié

Les trois espèces les plus appréciées sont *Acacia karroo*, *A. nilotica* et *Securinega virosa*. Il est vrai que la fréquence du premier dans le peuplement était élevée, en revanche les deux autres avaient une fréquence moyenne et faible respectivement.

Certaines espèces de faible fréquence sont préférées à certaines périodes de l'année; par exemple, *Securinega virosa*, *Dichrostachys cinerea*, *Ziziphus mucronata* en saison des pluies, et *Carissa edulis*, *Asparagus larycinus*, *Lippia javanica* en saison sèche. De plus, 11 espèces mineures en distribution dans le peuplement totalisaient globalement 15 et 11p.100 de l'activité de brouteur, respectivement en saison des pluies et pendant la saison de transition.

Seulement 16 espèces, soit un quart des espèces ligneuses présentes dans la station ne sont pas appréciées; on compte parmi elles *Julbernardia globiflora* et *Burkea africana*.

Les résultats de la recherche menée en Afrique du Sud par OWEN-SMITH et COOPER, 1987, sont synthétisés dans les tableaux V et VI. Dans le tableau V, la classification est faite en fonction de la chute des feuilles, de la présence d'épines et des variations saisonnières de l'appétibilité. Deux catégories d'appétibilité sont ainsi représentées:

- Espèces appréciées toute l'année;
- Espèces non appréciées, sauf pendant certaines périodes de l'année.

En effet, toutes les espèces non appréciées semblent avoir un taux d'appétibilité temporairement plus élevé au moment de l'apparition de leurs nouvelles feuilles, le fait qu'elles soient mangées ou non dépend de la disponibilité du feuillage sur des espèces avec une appétibilité supérieure. Certaines espèces conservent cependant une faible appétibilité toute l'année.

TABLEAU V : Classification d'espèces ligneuses selon leur appétibilité pour les caprins

	Espèces caducifoliées		Espèces à feuillage persistant	
	Épineuses	Non épineuses	Épineuses	Non épineuses
Appété	<i>Acacia karroo</i> <i>Acacia nilotica</i> <i>Acacia tortilis</i> <i>Dichrostachys cinerea</i> <i>Securidaca longipedunculata</i> <i>Strychnos cocculoides</i> <i>Ziziphus mucronata</i> <i>Acacia burkei</i>	<i>Vitex rehmannii</i> <i>Grewia flavescens</i> <i>Combretum molle</i> <i>Combretum zeyheri</i> <i>Diospyros lycioides</i> <i>Lannea discolor</i>	<i>Strychnos pungens</i> <i>Carissa bispinosa</i> <i>Ximenia caffra</i>	<i>Rhus leptodictya</i>
Non appété		<i>Terminalia sericea</i> <i>Dombeya rotundifolia</i> <i>Grewia monticola</i> <i>Burkea africana</i> <i>Grewia bicolor</i> <i>Grewia flava</i> <i>Peltophorum africanum</i> <i>Ochna pulcra</i>		<i>Euclea undulata</i> <i>Euclea natalensis</i> <i>Ozoroa paniculosa</i>

Source : OWEN-SMITH et COOPER, 1987

On observe dans ce tableau que les légumineuses de la sous-famille des *Mimosoideae* (*Acacia*, *Dichrostachys*) sont invariablement épineuses et appâtées. En revanche, toutes les légumineuses de la sous-famille des *Caesalpinioideae* (*Burkea*, *Peltophorum*) sont inappâtées.

Les auteurs signalent que l'importante teneur foliaire en sclérenchyme d' *Ochna pulchra*, d' *Euclea* spp., de *Strychnos pungens*, et de *Carissa bispinosa* réduit leur appétibilité.

Ils estiment les taux d'utilisation du feuillage annuel par les brouteurs à 1 à 3p.100 pour les espèces caducifoliées non appâtées, comparée à 10 à 30p.100 pour les espèces à feuillage persistant et caducifoliées sans épines les plus appâtées.

Dans le tableau VI, OWEN-SMITH et COOPER, 1985, affinent leur classification en quatre catégories:

- 1: Espèces caducifoliées appâtées, consommées tant que les feuilles sont présentes. La présence d'épines modifie l'acceptabilité de ces espèces.

- 2: Espèces à feuillage persistant relativement appâtées, consommées durant la saison sèche, après que les espèces de la première classe aient commencé à perdre leurs feuilles.

- 3: Espèces à feuillage persistant non appâtées, consommées seulement vers la fin de la saison sèche, quand le feuillage vert est généralement manquant

- 4: Espèces caducifoliées non appâtées, consommées seulement en présence des nouvelles feuilles, ou très peu appâtées (ce qui constituera notre cinquième classe).

TABLEAU VI : Classification des espèces ligneuses selon leur appétibilité

Classe	1	2	3	4	5
Espèces	<i>Grewia flavescens</i> <i>Vitex rehmannii</i> <i>Combretum molle</i> <i>Dichrostachys cinerea</i> <i>Acacia nilotica</i>	<i>Acacia tortilis</i> <i>Rhus leptodictya</i> <i>Strychnos pungens</i> <i>Dombeya rotundifolia</i>	<i>Euclea natalensis</i>	<i>Burkea africana</i> <i>Ochna pulcra</i>	<i>Terminalia sericea</i> <i>Peltophorum africanum</i>

Source : OWEN-SMITH et COOPER, 1985

La classification de WALKER, 1980, est plus exhaustive, elle contient en effet toutes les espèces ligneuses importantes rencontrées en Afrique du Sud (TABLEAU VII).

Certaines espèces sont particulièrement importantes grâce à leurs fruits. Les plus intéressantes sont les espèces *Acacia erioloba*, *A. albida* (grandes gousses) et de nombreuses autres espèces telles *A. nilotica* qui ont des gousses plus petites, mais très appréciées (WALKER, 1980). Les gros fruits pulpeux de *Sclerocarya caffra*, *Uapaca kirkinia* et *Ficus* spp. assurent aussi une quantité de nourriture importante pour une période très courte. Les fruits plus petits d'espèces telles que *Ziziphus mucronata* et *Grewia* spp. se dessèchent et restent sur les branches, assurant une source de nourriture plus limitée mais sur une durée plus longue.

TABLEAU VII :

LES ESPECES LIGNEUSES LES PLUS IMPORTANTES EN AFRIQUE DU SUD EXCEPTE LE KAROO, ET LA VEGETATION APPETEES. (3 = très appété, 2 = appété, 1 = mangé mais non choisi, 0 = non appété, v = se rencontre dans la végétation mais valeur du fourrage ligneux inconnue. Deux symboles séparés par / indiquent que les deux degrés de palatabilité ont été relevés).

Espèces	Végétation type						
	Savane aride	<i>C. mopane</i>	Savane d'Acacia	Savane mixte	Arbuste <i>Baikiaea</i>	Miombo	Alluvions
<i>Acacia albida</i>							2/3
<i>A. ataxacantha</i>	v		v	1	1		v
<i>A. erioloba</i>			2	2			1
<i>A. karoo</i>	2		2	2		2	
<i>A. nigrescens</i>	1	1	1				v
<i>A. nilotica</i>			1	1			
<i>A. tortilis</i>	2	2	2	2			3/2
<i>Albizia harveyi</i>	1		v	1			
<i>Balanites aegyptiaca</i>	2	1					2
<i>B. maughanii</i>	2	2					3
<i>Baphia massaiensis</i>					1		
<i>Bauhinia macrantha</i>				1	2	1	
<i>Boscia albitrunca</i>	2	2	v				
<i>Brachystegia</i> spp.						1/0	
<i>Burkea africana</i>				1/0	1	1/2	
<i>Canthium gilfillani</i>				3			
<i>Capparis tomentosa</i>	1/3	1		v			
<i>Colophospermum mopane</i>	1	1/2	1				
<i>Combretum apiculatum</i>	2	2	1	1/2			
<i>C. eleagnoides</i>	1	2		1			
<i>C. fragans</i>	2	3					
<i>C. hereroense</i>	v			1			
<i>C. imberbe</i>	1		1				v
<i>C. mossambicense</i>	3						3/2
<i>C. molle</i>				2/3		2	
<i>C. zeyheri</i>				2	2	2	
<i>Commiphora africana</i>	2	2	v				
<i>C. mollis</i>	1			1			
<i>C. pyraëanthoides</i>	1	1					
<i>Dalbergia melanoxylon</i>	2	2	2				
<i>Dichrostachys cinerea</i>	2/0	1	1	v	2		
<i>Diospyros mespiliformis</i>	1		v				v
<i>Dombeya rotundifolia</i>				1		v	
<i>Dipterhynchus condylocarpon</i>				3	2	3	
<i>Euclea divinorum</i>	0/1	0		0			
<i>E. undulata</i>	0		v	2		v	
<i>Erythrophileum africanum</i>				v	1	v	
<i>Erythroxylum cambesiacum</i>		2		v			2
<i>Friesodielsia obovata</i>		2					2
<i>Gardenia spatulifolia</i>	3		2				
<i>Grewia bicolor</i>	1	2	1	2			
<i>G. flava</i>	3		1	2			
<i>G. flavescens</i>	2	2	1	1		1	
<i>G. monticola</i>	1		v	1		v	
<i>Julbernardia globiflora</i>						2/1	
<i>Kirkia acuminata</i>	0	0					
<i>Lannea discolor</i>			1	v	v	2	
<i>L. stuhlmannii</i>	2	3/2	v				
<i>Lonchocarpus capassa</i>	3	3	2				1/3
<i>Maerua parvifolia</i>	1	1	1				
<i>Maytenus heterophylla</i>				2			
<i>M. senegalensis</i>	0/1						
<i>Monotes glaber</i>						1/2	
<i>Mundulea sericea</i>				3			
<i>Ochna pulchra</i>				0	1	v	
<i>Pappia capensis</i>	2			2			
<i>Ptilostigma thonningii</i>			2	2		2	
<i>Pseudolachnostylis maprouneifolia</i>				1		2	
<i>Pterocarpus brenanii</i>	1	1					
<i>Schonia brachypetala</i>	2						2
<i>Securidaca longipendunculata</i>				2		2	
<i>Securinea virosa</i>				2		2	
<i>Sclerocarya caffra</i>	2/1	2	1	1			
<i>Strychnos innocua</i>	2	2					
<i>S. pungens</i>				3			
<i>S. spinosa</i>	0/1			0/1		1	
<i>Terminalia prunioides</i>	v	1		v			
<i>T. sericea</i>	0			0/1	0/1	0	
<i>Vitex mombassae</i>				v		1	
<i>Ximelia americanum</i>	2	2/3	2/3				2
<i>X. caffra</i>				2			v
<i>Ziziphus mucronata</i>	2/0		2	2		v	

Source : WALKER, 1980

### III. APERÇU DES RECHERCHES EFFECTUEES SUR LA BIOMASSE LIGNEUSE AU ZIMBABWE

Plusieurs études sur l'estimation de la biomasse ligneuse, et en particulier sur la biomasse foliaire, ont déjà été menées au Zimbabwe. La plupart de ces travaux ont abouti à des relations allométriques entre la biomasse d'un arbre et ses dimensions. Ces équations sont spécifiques d'une espèce, mais aussi d'un site et d'une époque de l'année (BARNES et al., 1976). Nous nous limiterons donc à une synthèse des études faites au Zimbabwe.

#### A. LES DIFFERENTES METHODES UTILISEES

##### \*Méthodes destructrices

La technique la plus courante est de couper et peser le peuplement d'un certain nombre de quadrats ou des individus sélectionnés représentatifs des pâturages étudiés. Le nombre, la taille et la forme des quadrats varient avec le type de formation végétale et la structure de la végétation.

L'arbre entier est abattu, des mesures précises, notamment sa hauteur totale, sont ainsi obtenues et la totalité des feuilles (parfois du bois) peut être pesée. Cette méthode est par conséquent plus précise, puisqu'aucune extrapolation n'est faite. Mais elle est aussi longue, chère et fortement perturbante pour l'écosystème.

Pour cette raison, des méthodes non destructrices ont été développées.

##### \* Méthodes non destructrices

Elles consistent à prélever des échantillons sur la plante, à en peser la matière sèche, puis à extrapoler celle-ci à la totalité de l'arbre en fonction des dimensions de celui-ci.

#### B. LES MESURES RETENUES

BARNES et al., 1976, lors d'une étude à la station de Nuanetsi (bas plateaux du Zimbabwe), sur l'estimation de la biomasse foliaire totale de *Colophospermum mopane* ont enregistré les mesures suivantes:

- hauteur de l'arbre (+/- 0,5m ou 0,1m, pour les grands et les petits arbres respectivement)
- diamètre du tronc ou des branches à 20cm du sol (deux mesures à angle droit, +/- 1cm)
- diamètre maximum du houppier à une hauteur inférieure à 2m (hauteur maximale exploitée par les bovins)
- hauteur du plan correspondant à ce diamètre maximum (+/- 0,5 ou 0,1m, pour les grands et les petits arbres)
- hauteur de la plus basse feuille (+/- 0,1m)

Le modèle Logarithmique s'est révélé le meilleur modèle de régression, mais une petite erreur dans l'estimation du Log de la masse conduit à une grande erreur dans l'estimation de la masse, la transformation Logarithmique ne donnerait par conséquent aucun avantage (BARNES et al., 1976). Les équations linéaires ont donc été préférées (meilleure compromis entre facilités de mesures, de calcul, et précision de l'estimation de la biomasse foliaire) (cf équations 2, 3 et 4 du tableau VII).

Ces mêmes auteurs ont aussi travaillé à Henderson Research Station (près d'Harare) sur *Brachystegia spiciformis* et *B.boehmii*. Ils ont retenus les dimensions suivantes:

- hauteur de chaque branche (+/- 1cm)
- diamètre de chaque branche à 10 cm du sol (+/- 1mm)
- nombre de branches dans chaque massif.

Ils aboutissent à des équations liées au site et à la période de l'année (cf équations 5 à 8 du tableau VII).

D'autres recherches ont été menées à Sengwa sur plusieurs espèces de ligneux. GUY, 1981, présente des équations pour toutes espèces confondues, (car les différences interspécifiques sont trop faibles pour définir des équations spécifiques) dont les variables sont le diamètre des branches juste après le renflement basal, la hauteur de l'arbre, le diamètre du tronc, le volume du houppier (cf équations 9 à 14 du tableau VII).

Les relations, données par GUY, 1981, sont valables pour les arbustes, mais à cause de leur grand nombre dans les pâturages et de la difficulté pour mesurer les diamètres de leurs branches, le volume du houppier est préférentiellement utilisé.

KELLY, 1973, utilise le diamètre à la hauteur de la poitrine et la surface du houppier (équation 1 du tableau VII). Lorsque les arbres sont plus petits, de nombreux auteurs préfèrent calibrer le diamètre du tronc ou celui à 15 cm du sol (ETIENNE, 1989). La circonférence des branches est aussi souvent mesurée.

Malgré l'introduction d'une petite erreur ( $\pm 3p.100$ ), MADGWICK et SATOO, cités par GUY, 1981, utilisent une transformation "Log-Log" des deux variables -dépendantes et indépendantes- à cause de ses coefficients de détermination plus élevés que ceux obtenus à partir de données non transformées.

WHITTAKER et WOODWELL, cités par GUY, 1981, note l'absence de corrélation directe évidente entre la masse de la production annuelle (branches, fruits et feuilles) et la masse totale, puisque la masse de la production annuelle (dont 80p.100 est foliaire) varie avec l'âge de l'arbre, la structure de la population, l'âge de la feuille, l'intensité des radiations solaires et autres facteurs environnementaux.

### C. SYNTHÈSE DE DIFFÉRENTS MODÈLES

Les modèles auxquels ont abouti les travaux précédemment cités sont résumés dans le tableau VIII.

TABLEAU VIII : Synthèse des modèles d'estimation de la biomasse ligneuse retenus par différents auteurs

ESPECES	EQUATIONS	R <sup>2</sup>	AUTEURS
<i>Colophospermum mopane</i>	(1) $R = -2935 + 219 A * D$	R <sup>2</sup> =0,94	KELLY, 1973
<i>Colophospermum mopane</i>	<u>Pour la biomasse foliaire totale et les arbres inférieurs à 2m:</u> (2) $B = 159(+/-266) + 230(+/-11) * C$ (3) $B = 177(+/-369) + 6,41(+/-0,45) * SD^2$	R <sup>2</sup> =0,88 R <sup>2</sup> =0,78	BARNES et al., 1976
	<u>Pour la biomasse foliaire sous 2m:</u> (4) $\text{Log}_{10}(\text{ratio masse} + 1) = 0,3514 (+/-0,010) - 0,0422 (+/-0,0026) * H$	R <sup>2</sup> =0,82	
<i>Brachystegia spiciformis</i>	<u>Février 1974:</u> (5) $Y = 2000 (+/-3790) - 1720 (+/-822) * SD + 4790 (+/-697) * N$	R <sup>2</sup> =0,88	BARNES et al., 1976
	<u>Juin 1975:</u> (6) $Y = 2830 (+/-2330) - 1080 (+/-762) * SD + 3010 (+/-391) * N$	R <sup>2</sup> =0,71	
<i>B. boehmii</i>	<u>Février 1974:</u> (7) $Y = -622 (+/-3090) - 3360 (+/-602) * SD + 6770 (+/-550) * N$	R <sup>2</sup> =0,90	BARNES et al., 1976
	<u>Juin 1975:</u> (8) $Y = 110 (+/-1790) - 785 (+/-523) * SD + 2630 (+/-273) * N$	R <sup>2</sup> =0,84	

Toutes espèces confondues	<p>- Arbres (diamètre du tronc &gt; 6cm):</p> <p>(9) <math>M = Db^{1,9241} * H^{0,8883} * 0,0564</math>  (10) <math>M = Db^{2,5101} * 0,0549</math>  (11) <math>P = Wd^{1,52} * 0,0381</math> (pour <math>Wd &gt; 70cm</math>)</p> <p>- Arbustes (1cm &lt; diamètre du tronc &lt; 6cm):</p> <p>(12) <math>M = V^{0,9138} * 1,2102</math>  (13) <math>M = 1,4243 * V - 0,1859</math>  (14) <math>P = V^{0,8074} * 0,2064</math></p>		GUY, 1981
Toutes espèces confondues	<p><u>Généralisation:</u></p> <p>(15) <math>M = a * Db^h</math> (a,h: constantes)  (16) <math>M = a * Db^h * H^k</math> (souvent <math>h = 2</math> et <math>k = 1</math>)</p>		GUY, 1981  KIRA et SHIDEI; NIHLGARD et LINDGREN, cités par GUY, 1981
Plusieurs espèces du Miombo	(17) $M = 0,0044 * Db^2 * H$		GUY, 1981
<i>C. mopane</i>	(18) $M = 0,0027 * Db * H^3$		MARTIN, cité par GUY,(9)

avec :

- R: rendement de la biomasse annuelle (kg/ha)
- A: aire du houppier
- D: diamètre à la hauteur de la poitrine
- B: matière sèche foliaire (g)
- C: produit des diamètres maxima du houppier (m<sup>2</sup>)
- SD<sup>2</sup>: somme des carrés des diamètres des branches (cm<sup>2</sup>)
- ratio masse = biomasse foliaire sous 2m / biomasse foliaire totale  
(la biomasse foliaire totale étant estimée à partir des équations (2) ou (3))
- H: hauteur de l'arbre (m) ( de plus de 2m pour l'équation (4))
- Y: superficie foliaire (cm<sup>2</sup>)
- SD: somme des diamètres des branches (mm)
- N: nombre de branches
- M: matière sèche totale
- Db: diamètre des branches juste après le renflement basal (cm)
- P: masse de la production annuelle (branches, fruits et feuilles)
- Wd: diamètre du tronc (cm)
- V: volume du houppier :  $V = H * D1 * D2 * 0,785$

## D. CONCLUSION

La majorité des travaux sur la détermination de la biomasse foliaire des arbres aboutissent donc à des relations allométriques entre cette biomasse et les dimensions de la plante. L'établissement de ces équations, nécessaire pour chaque espèce, chaque nouveau site, (et chaque période de l'année, si toute la production annuelle n'est pas prise en compte), est long et fastidieux, puisqu'il faut prendre les dimensions de chaque ligneux des transects ou autres échantillons du ou des pâturages considérés. De plus, les deux à trois types de mesures nécessaires diffèrent entre espèces. Cependant, la méthode est maintenant standardisée, et pour un nouveau site, il suffit d'appliquer un coefficient correcteur à l'équation de base de l'espèce considérée, coefficient correcteur obtenu à partir de la biomasse de rameaux standards (branchettes de un centimètre de diamètre à leur base, deux centimètres pour les espèces à grosses tiges) (CISSE et SACKO, 1978):

$$BM = BM' * (b_0/b'_0)$$

(BM: biomasse maximale; BM': biomasse maximale calculée à partir de la relation d'allométrie;  $b_0$ : biomasse du rameau standard mesuré sur le terrain;  $b'_0$ : biomasse du rameau standard dans la bibliographie)

La méthode reste néanmoins quelque peu contraignante, puisqu'il faut collecter des rameaux standards pour chaque espèce, chaque site, puis déterminer leur biomasse au maximum de feuillaison.

## ETUDE EXPERIMENTALE

La première partie indique que l'essentiel des recherches sur l'appétibilité a été effectué en Afrique du Sud. Les grands thèmes abordés sont l'acceptabilité et ses facteurs de variation, ainsi que la classification des espèces appréciées. En revanche, quelques anciennes publications zimbabwéennes sont disponibles sur la biomasse ligneuse. Elles fournissent des relations allométriques entre la biomasse et les dimensions de l'arbre. Néanmoins aucune donnée sur *Dichrostachys cinerea*, *A. nilotica* et *A. rehmanniana* n'a été trouvée.

Ainsi, peu d'informations sont disponibles sur une classification des espèces ligneuses zimbabwéennes selon leur appétibilité. Par ailleurs, les méthodes d'estimation de la biomasse ligneuse sont relativement longues et fastidieuses.

Le projet se propose donc d'une part de hiérarchiser ces espèces ligneuses, en ce qui concerne l'appétibilité, d'autre part, de mettre au point une méthode d'évaluation rapide de la biomasse foliaire ligneuse.

### I. APPETIBILITE DES LIGNEUX INDIGENES

#### A. MATERIEL, METHODE

##### 1. OBJECTIF

L'objectif de l'étude était triple :

- connaître les espèces ligneuses les plus appréciées par les caprins, afin d'en tenir compte pour évaluer la biomasse disponible dans un pâturage;
- établir dans quelle mesure la "verdeur" des rameaux, la présence et la longueur des épines influencent l'appétibilité;
- définir une relation entre le temps d'ingestion et la matière sèche ingérée. Pour cela, il faut d'une part relier la calibration d'une branche (diamètre, longueur) à son poids, afin de pouvoir déduire la masse foliaire ingérée, d'autre part trouver une équation entre la matière fraîche et la matière sèche des feuilles et du bois.

Ce dernier point s'inscrit dans un projet d'étude des préférences alimentaires des herbivores sauvages et domestiques (FRITZ, en cours).

Par manque de temps, seul le premier objectif a été atteint.

##### 2. PROTOCOLE

L'étude expérimentale a été menée du 16 juin au 24 août 1994. Elle a porté sur 44 espèces ligneuses, espèces présentes sur la ferme et réputées appréciées, soit selon les sources bibliographiques exposées dans la première partie de ce document, soit d'après la liste de MAROVANIDZE, spécialiste du bétail d'Agritex - Masvingo, (cf annexe 1), soit enfin selon l'avis de l'assistant du protocole, lui-même éleveur de bovins et de caprins.

### **\* Les animaux :**

Les chèvres de la ferme (environ au nombre de 70) vont pâturer entre 8 et 11 heure, puis entre 14 et 17 heure. Au début, les animaux étaient gardés dans l'enclos une demi-journée, mais au moment de l'expérience, ils étaient affamés et faisaient très peu de sélection sur les rameaux présentés. Par la suite, tous sortaient donc pâturer, et le protocole débutait à leur retour, vers 11 heure.

Cinq à dix caprins étaient alors rassemblées dans un petit abri dans l'une des chèvreries. Un mâle et plusieurs femelles étaient retenus, afin de respecter le sexe ratio des troupeaux traditionnels. Les animaux étaient choisis en fonction de leur absence de cornes et de leur caractère pacifique, afin qu'ils ne se battent pas dans l'espace restreint de l'abri. Le fait de savoir s'ils allaient consommer ou non les rameaux présentés, n'était pas un critère de choix, car ils devenaient très vite coopératifs dès qu'ils avaient compris qu'ils étaient là pour manger. Ils étaient toujours plus ou moins stressés le premier jour de leur participation, alors ils coopéraient et mangeaient peu. Par conséquent, les mêmes sujets étaient si possible gardés d'un jour sur l'autre. Cependant les femelles mettant bas ne faisaient plus parti du protocole, et finalement 28 femelles, 4 mâles et 4 jeunes ont participé au protocole.

### **\* Les prélèvements :**

En moyenne entre 5 et 10 chèvres par jour étaient soumises à l'expérience, autant de rameaux étaient prélevés par espèce, si possible ceux-ci étaient "similaires": même "verdeur", même taille moyenne d'épines, approximativement même longueur et même nombre de feuilles. Une dizaine d'espèces étaient ainsi prélevées chaque jour.

### **\* La récolte de données :**

Les données collectées, rassemblées dans la fiche présentée en annexe 2, sont les suivantes:

- l'espèce, l'ordre des espèces sur la fiche étant l'ordre dans lequel celles-ci étaient présentées ("séquence"),
- l'organe (rameaux, feuilles, fruit),
- la verdeur (3 tables de notation différentes: pour les espèces à "grandes feuilles", à "petites feuilles", à feuilles composées de "petits folioles"),
- le nombre d'épines et la note de longueur attribuée à celles-ci,
- le diamètre, la longueur et le poids du rameau avant et après ingestion, afin d'établir la part du bois dans l'ingestion
- le poids des feuilles restantes après ingestion,
- le poids de matière sèche des feuilles et de la branche restantes après ingestion.

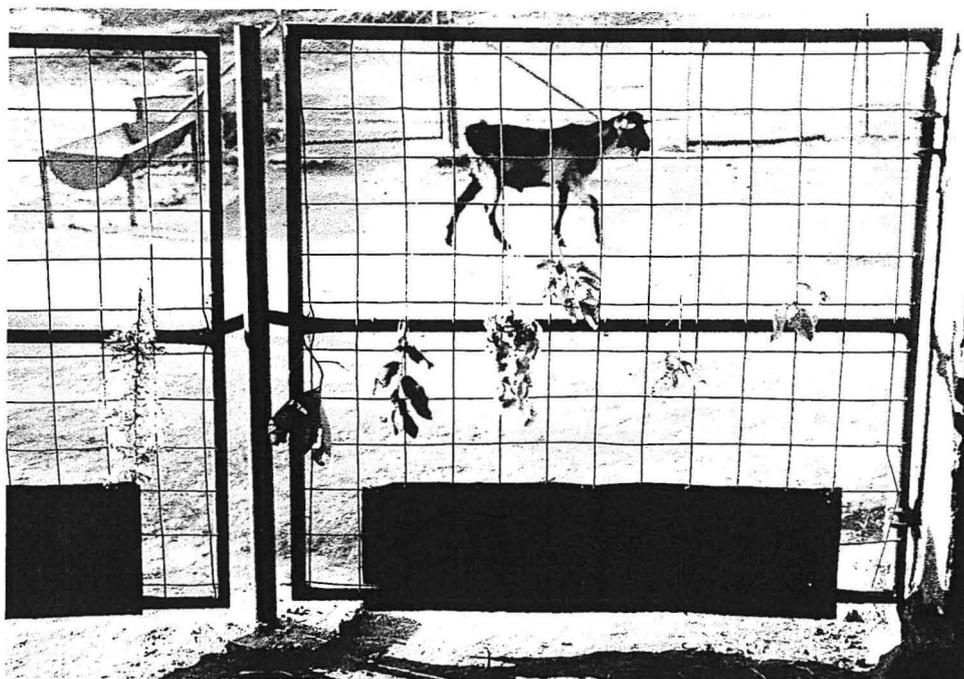
Les prises de poids étaient effectuées avec une balance mécanique (+/- 0,01g).

Plusieurs contraintes sont apparues au cours de l'étude. D'une part, les mesures nécessaires pour définir une relation entre les dimensions (longueur, diamètre) et le poids de la branche, dans le but d'obtenir le poids des feuilles avant ingestion, par soustraction du poids de la branche au poids total du rameau, se sont révélées très longues. D'autre part, il est apparu difficile de trouver une relation entre matière fraîche et matière sèche des feuilles, car la masse de matière fraîche variait parfois considérablement en une heure (évapotranspiration), et que la durée entre le prélèvement du rameau sur l'arbre et sa pesée n'était jamais constante. De plus, la vitesse d'évapotranspiration variant avec l'espèce, elle est difficilement mesurable.

Toutes ces mesures ont donc été abandonnées en cours de route, afin de ne s'attacher qu'aux épines et à la verdeur des rameaux.

Un rameau de chaque espèce prélevée était attaché à un grillage (photo 1), les points d'attache étaient espacés de 20 à 30 cm et se situaient à une hauteur approximative de 80 cm. Les fruits étaient présentés à terre devant ce même grillage.

**PHOTO 1 : Présentation des rameaux lors du protocole d'appétibilité**



Un animal était ensuite lâché, la séquence dans laquelle il faisait ces choix (c'est-à-dire espèces consommées et espèces refusées), et le temps de consommation pour chacun d'eux étaient alors notés. Lorsque l'animal avait fini de manger, les branches et feuilles restantes étaient pesées (balance mécanique, +/-0,01 g), puis conditionnées séparément dans un sac plastique avec le numéro de l'échantillon. En fin de semaine, ces sacs étaient amenés à Makoholi Research Station (à 110 km de la ferme) pour séchage à l'étuve (24h, 80°C), les matières sèches étaient pesées immédiatement à la sortie du four à l'aide d'une balance électronique (+/- 0,01g).

## B. RESULTATS-DISCUSSION

Le but de l'analyse est d'aboutir à une classification des espèces ligneuses selon leur attractivité. Pour cela, l'étude a porté à la fois sur, l'acceptabilité absolue, et sur un taux de refus.

### 1. ACCEPTIBILITE ABSOLUE

L'acceptabilité absolue est définie comme suit:

$$A = \frac{\text{Nombre d'animaux ayant consommés une espèce}}{\text{Nombre d'animaux à qui cette même espèce a été présenté}}$$

Dans cette définition, l'animal est considéré comme une unité, et non comme un individu. 36 chèvres, donc 36 individus, ont participé au protocole; 95 fiches de récolte de données ont été remplies, 95 unités caprins ont donc été soumises à l'expérience.

L'acceptabilité a été étudiée d'une part pour les rameaux (42 espèces), d'autre part pour les fruits (10 espèces).

#### a. Acceptabilité absolue des rameaux

Une première classification brute des espèces a été établie (figure 4).

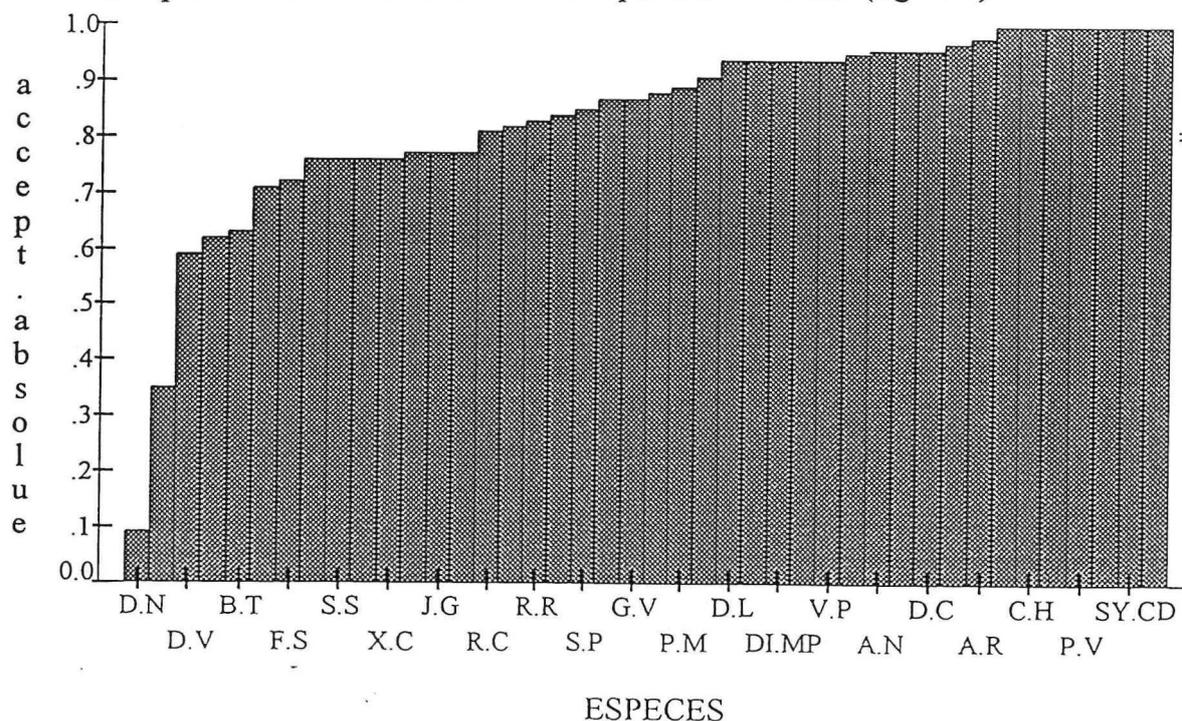


FIGURE 4: Classification des espèces de rameaux testés en fonction de leur acceptabilité absolue

- A partir de cette figure, suivant les paliers observés, cinq classes ont été définies:
- très acceptée (  $0,95 < A \leq 1$  )
  - acceptée (  $0,75 < A \leq 0,95$  )
  - moyennement acceptée (  $0,5 < A \leq 0,75$  )
  - peu acceptée (  $0,2 < A \leq 0,5$  )
  - non acceptée (  $0 \leq A \leq 0,2$  )

Cette classification est présentée dans le tableau IX.

TABLEAU IX : Classification des espèces ligneuses selon leur acceptabilité absolue

Très accepté	Accepté	Moyennement accepté	Peu accepté	Non accepté
<i>Maytenus senegalensis</i>	<i>Psidium guajava</i>	<i>Pterocarpus angolensis</i>	<i>Combretum zeyheri</i>	<i>Dalbergiella nyassae</i>
<i>Vangueriopsis lanciflora</i>	<i>Diospyros lycioides</i>	<i>Piliostigma thonningii</i>		
<i>Acacia rehmanniana</i>	<i>Diopyros mespiliformis</i>	<i>Faurea saligna</i>		
<i>Ziziphus mucronata</i>	<i>Monotes engleri</i>	<i>Parinari curatellifolia</i>		
<i>Acacia nilotica</i>	<i>Vitex payos</i>	<i>Dodoneae viscosa</i>		
<i>Dichrostachys cinerea</i>	<i>Dalbergia melanoxylon</i>			
<i>Combretum collinum</i>	<i>Pseudolachnostylis maprouneifolia</i>			
<i>Combretum hereroense</i>	<i>Carissa edulis</i>			
<i>Pittosporum viridiflorum</i>	<i>Psydrax livida</i>			
<i>Syzygium guineense</i>	<i>Gardenia volkensii</i>			
<i>Syzygium cordatum</i>	<i>Euclea divinorum</i>			
<i>Combretum adenogonium</i>	<i>Strychnos pungens</i>			
	<i>Grewia flavescens</i>			
	<i>Rhoicissus revoilii</i>			
	<i>Uapaca kirkinia</i>			
	<i>Rhus chiredenti</i>			
	<i>Julbernardia globiflora</i>			
	<i>Combretum molle</i>			
	<i>Terminalia sericea</i>			
	<i>Flacourtia indica</i>			
	<i>Strychnos spinosa</i>			
	<i>Ximenia caffra</i>			
	<i>Securinega virosa</i>			

Ce tableau indique une faible appétibilité pour *Combretum zeyheri* alors que cette espèce est considérée appétée par OWEN-SMITH et COOPER, 1987, et WALKER, 1980. De même, l'appétibilité de *Piliostigma thonningii* a été décrite comme bonne, et non moyenne.

A l'inverse, *Terminalia sericea*, considéré non appété par OWEN-SMITH et COOPER, 1985 et 1987, et WALKER, 1980, se situe dans la catégorie des espèces appétées.

En revanche, *Acacia nilotica*, *Dichrostachys cinerea*, *Grewia flavescens*, *Combretum molle*, *Ziziphus mucronata*, *Ximenia caffra*, *Pseudolachnostylis maprouneifolia*, *Securinega virosa*, *Euclea divinorum* et *Strychnos pungens* sont effectivement considérés appétés par OWEN-SMITH et COOPER, 1985 et 1987, et WALKER, 1980, avec une forte appétibilité pour les quatre premières espèces.

Les résultats concordent donc généralement avec ceux de la bibliographie.

Le fait que le protocole se déroule en pleine saison sèche peut expliquer une partie des quelques différences observées. Les ressources alimentaires étant limitées en cette période, et les animaux ayant donc plus de mal à trouver des fourrages de bonne qualité, ils deviennent moins sélectifs et consomment un éventail plus large d'espèces ligneuses.

Il faut toutefois modérer cette justification, puisque dans le protocole, les animaux n'ont pas été observés au pâturage, un nombre limité d'espèces leur était présenté, leur choix était donc restreint.

Il est à noter que les feuilles de Légumineuses (*Acacia*, *Dichrostachys*), qui ont une très bonne valeur nutritive, sont très appétées, et ceci malgré la présence d'épines.

Il est plus explicatif de définir la préférence alimentaire par rapport à une masse ingérée, et malheureusement pas par rapport à un temps d'ingestion, plus pratique à relever sur le terrain que la masse. Celui-ci n'est en effet pas forcément directement lié à cette quantité, il est par exemple supérieur pour une même masse de feuilles sur un rameau épineux par rapport à un rameau non épineux. Lorsqu'un animal s'arrête de consommer une plante non épineuse au bout d'un temps t, alors qu'il continuerait de s'alimenter sur une plante épineuse au bout de ce même temps, ceci peut être dû au fait qu'il soit à satiété seulement dans le premier cas. Le temps passé à s'alimenter sur un arbre ne permet donc pas de hiérarchiser tous les ligneux de la même manière. Il traduit cependant l'effort de l'animal pour s'alimenter sur les plantes épineuses et est donc tout de même un indicateur des préférences alimentaires, il faut néanmoins le pondérer.

L'acceptabilité absolue s'obtient très facilement, sans aucune mesure, et de plus, elle évite le biais lié au temps de consommation. Mais elle représente en fait plutôt un indice d'attractivité, soit une mesure de la probabilité qu'une plante soit attaquée si elle est présente sur le site.

## b. Acceptabilité des fruits

La classification des fruits est présentée dans le tableau X.

TABLEAU X: Classification des fruits selon leur acceptabilité absolue

Accepté	Moyennement accepté	Peu accepté	Non accepté
<i>Dichrostachys cinerea</i> <i>Acacia nilotica</i>	<i>Pseudolachnostylis maprouneifolia</i>	<i>Sclerocarya caffra</i> <i>Crossopteryx febrifuga</i>	<i>Piliostigma thonningii</i> <i>Rhoicissus revoilii</i>  <i>Julbernardia globiflora</i> <i>Terminalia sericea</i> <i>Combretum zeyheri</i>

Les fruits de Légumineuses sont les plus appréciés. SIBANDA et NDLOVU, 1992, signale effectivement que les gousses sont consommées de juin à septembre. En effet, en pleine saison sèche, elles sont très nombreuses au sol ou sur l'arbre, et alors que le feuillage vert est manquant, elles constituent un apport important en azote.

## 2. INDICE DE REFUS

L'indice de refus est défini comme suit:

$$R = \frac{\text{Nombre de fois où une espèce a été refusée}}{\text{Nombre de fois où cette même espèce a été consommée}}$$

Les figures 5 et 6, qui schématisent la classification brute selon cet indice, pour les rameaux d'une part, et les fruits d'autre part, permet de définir 5 classes de refus:

- Toujours refusé ( $\geq 10$ )
- Très souvent refusé ( $5 \leq R < 10$ )
- Moyennement refusé ( $1 \leq R < 5$ )
- Peu refusé ( $0,2 \leq R < 1$ )
- Jamais refusé ( $0 \leq R < 0,2$ )

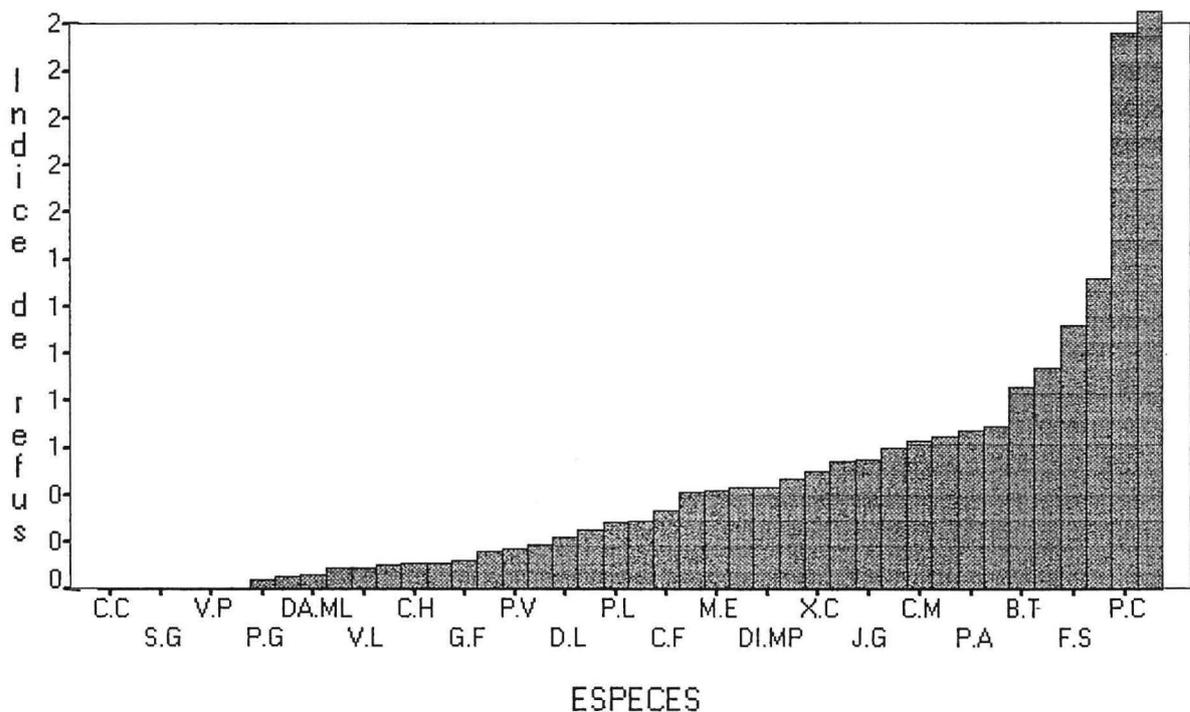


FIGURE 5: Classification des rameaux selon leur indice de refus

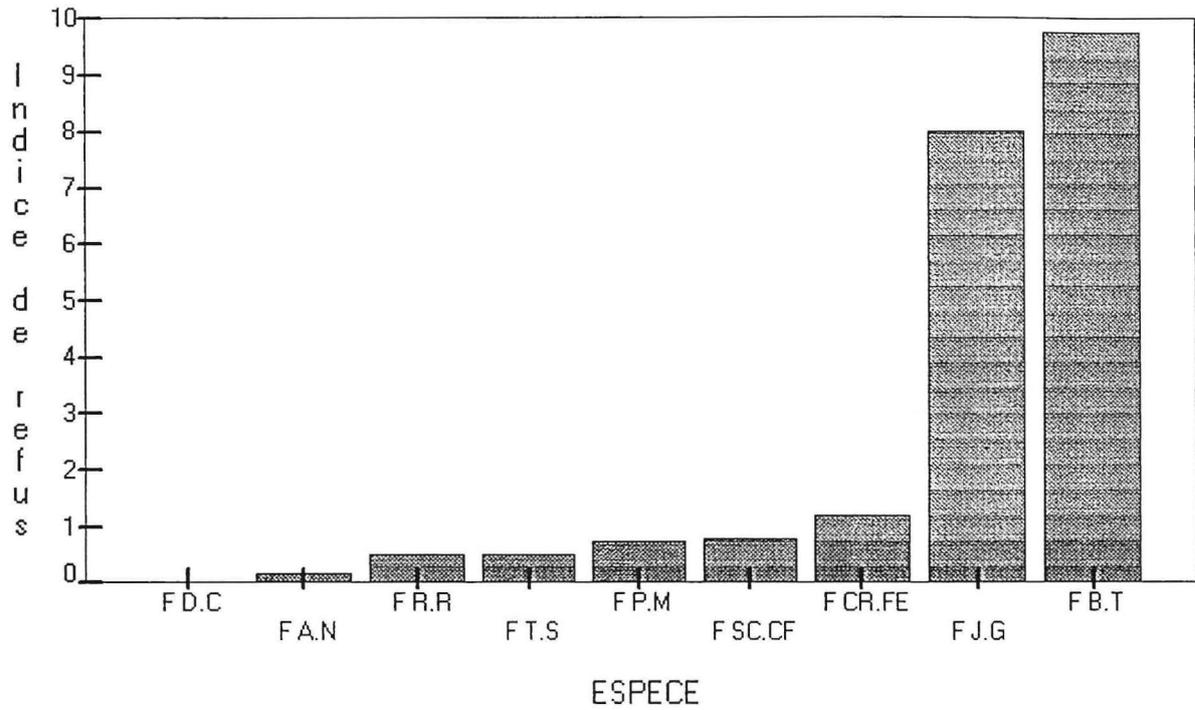
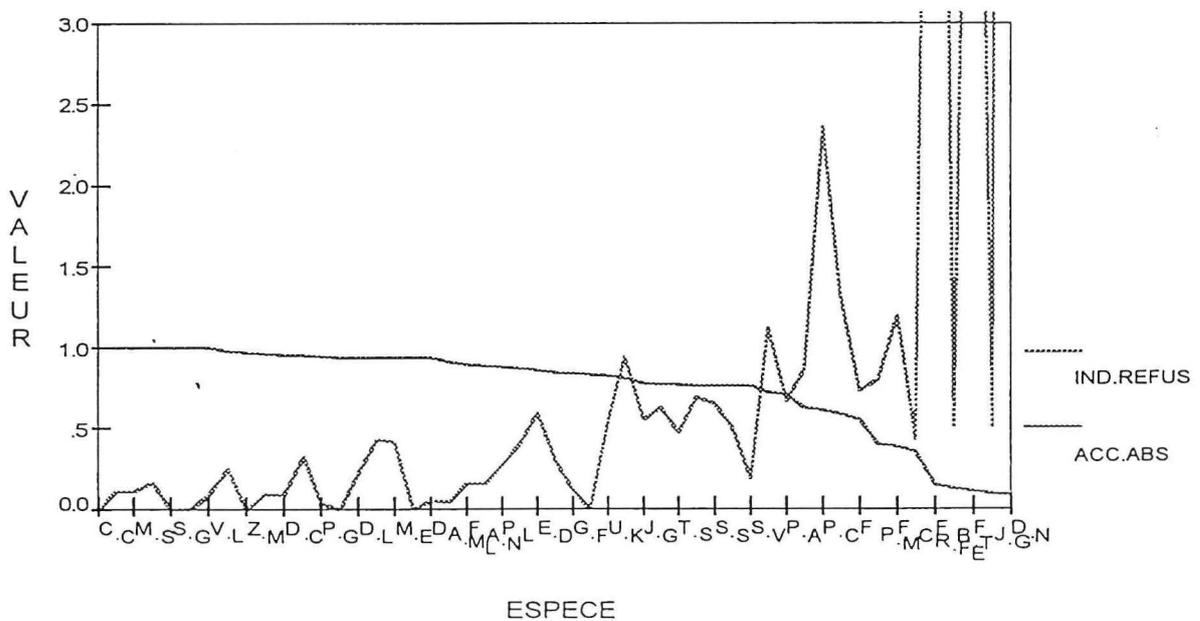


FIGURE 6: Classification des fruits selon leur indice de refus

Cette classification en fonction de l'indice de refus correspond approximativement à celle de l'acceptabilité absolue (cf fig. 7), notamment pour les espèces clés telles que *Dichrostachys cinerea*, *Acacia nilotica*, *A. rehmanniana* et *Ziziphus mucronata*, qui ont une très bonne acceptabilité et un très faible indice de refus.



acc.abs.: acceptabilité absolue

FIGURE 7: Comparaison des classifications selon l'acceptabilité absolue et selon l'indice de refus

Néanmoins, certains points de la courbe sont à remarquer. En particulier, *Securinega virosa* a une acceptabilité moyenne (0,76), et un indice de refus très faible (0,19). Ceci signifie que cette espèce est attaquée seulement trois fois sur quatre, mais dès lors elle est faiblement refusée. Cette plante est effectivement reconnue appréciée par les éleveurs de la région de Bikita. Cependant, elle présente de toutes petites feuilles avec une densité sur le rameau assez faible, de plus les buissons qu'elle forme sont peu fournis, et les échantillons prélevés étaient donc de petite taille. En conséquence, les rameaux présentés n'étaient souvent pas aperçus par les animaux, ce qui explique l'acceptabilité moyenne.

Quant à *Combretum zeyheri*, il est très faiblement accepté (0,35), et moyennement refusé (0,43). Ceci peut s'expliquer par les différentes combinaisons d'espèces présentées. Lorsqu'il est associé à des espèces très appréciées, il n'est pas attaqué; à l'inverse, si l'appétibilité des autres espèces est moindre, il est rarement refusé.

## **II. DETERMINATION D'UNE METHODE D'EVALUATION RAPIDE DE LA BIOMASSE FOLIAIRE DES LIGNEUX FOURRAGERS**

### **A. MATERIEL, METHODE**

Le protocole a pour finalité d'évaluer la biomasse foliaire d'un ligneux à partir de son volume et de sa "verdeur" (c'est-à-dire l'apparence visuelle de vert de la plante, soit encore la part du vert dans le volume total observé), définie en classes. C'est surtout la masse disponible pour les caprins, c'est-à-dire sous 1,5m, qu'il est intéressant d'estimer.

L'étude ne s'intéresse qu'à la biomasse foliaire et ne considère pas les pousses annuelles de bois, elle ne tient pas compte du stade phénologique des plantes. Enfin elle se situe à une période très précise de l'année (en pleine saison sèche) et n'étudie pas la production annuelle.

### **1. JUSTIFICATION DES RECHERCHES**

La méthode "Verdeur" est non destructrice, les prélèvements étant de petite taille (au maximum  $4 \times 0,075\text{m}^3$  par plante). En revanche, sa mise au point a été longue. En effet, pour estimer la biomasse foliaire du disponible, il est nécessaire de connaître la "verdeur", ainsi que le volume de ce disponible. Afin de simplifier la méthode, le protocole a donc tenté de définir une forme moyenne du disponible par espèce; ainsi deux, voire trois, mesures simples permettraient d'évaluer le volume disponible. En conséquence, de nombreuses dimensions de l'arbre ont été relevées, dans le but de sélectionner les meilleures.

Mais une fois la méthode au point, évaluer la biomasse foliaire disponible à partir de la "verdeur" est beaucoup plus facile et plus rapide comparativement aux méthodes classiques, puisque ceci ne nécessite qu'un classement de la plante, effectué rapidement, par lecture directe, une fois acquise l'habitude de cette notation, et la prise de deux ou trois mesures. De plus, pour toutes les espèces, le relevé de données est homogène, il s'agit en effet de noter la "verdeur" et des dimensions (seulement parmi quatre types différents). Le matériel nécessaire consiste juste en un petit catalogue des différentes catégories de "verdeur" et en un mètre. La masse foliaire par espèce pour chacune de ces classes, est déterminée directement par une équation simple.

La "verdeur" s'avèrerait donc un très bon outil de terrain, qui couplé à un échantillonnage systématique du pâturage avec comptage des ligneux (cf DELACHARLERIE, 1994), fournirait facilement une bonne estimation de la matière sèche foliaire du pâturage.

Une méthode "Cases vertes" a été développée au cas où celle de la "Verdeur" se révélerait trop peu précise. Elle est en effet assez rapide et un peu plus objective que cette dernière, mais aussi moins pratique. Elle consiste à extrapoler un nombre de "cases vertes" (cf chap. A.2.c.) à une matière sèche ou à une densité foliaire.

## 2. PROTOCOLE DE MISE AU POINT DES METHODES "VERDEUR" ET "CASES VERTES "

Le projet a été mené du 5 juillet au 23 août 1994.

Il a porté sur trois espèces, très appréciées par les caprins et présentes en abondance sur la ferme: *Dichrostachys cinerea*, *Acacia nilotica* et *Acacia rehmanniana*.

### a. Etablissement des classes de "verdeur"

Avant tout, il a fallu définir les classes de "verdeur". En collaboration avec H. Fritz et S. Ducornez (projet Ecologie, CIRAD-Zimbabwe) qui en avaient aussi l'utilité, elles ont été choisies au nombre de six: de 0 à 5. Une photo pour chacune des catégories de chaque espèce étudiée a été prise (cf annexe 3). Elles ont été rassemblées dans un catalogue de notation par espèce, qui a servi de référence pendant toute l'étude.

### b. Mesures et notation

Pour chaque arbre, étaient notés:

- la forme totale;
- la forme du disponible, soit sous 1,5m -considérée par TEAGUE, 1989, et beaucoup d'autres auteurs, comme la hauteur moyenne exploitable par les chèvres.

Les formes ont été relevées dans l'espoir de pouvoir attribuer une forme moyenne à chaque espèce, particulièrement en ce qui concerne le disponible, et donc un volume disponible moyen par espèce. Ainsi, une formule donnerait directement la matière sèche disponible pour les animaux à partir de l'espèce ligneuse, de la "verdeur", et de mesures simples permettant de calculer le volume du disponible ligneux.

- la "verdeur"; si elle n'était pas homogène, seule la bande de prélèvement (entre 1,5 et 2m) était prise en considération;

- les nombres de fruits respectivement sur l'arbre et au sol, afin de connaître leur production. Mais la majorité des fruits à cette époque de l'année, étaient tombés au sol, et presque immédiatement consommés par les caprins. L'objectif d'estimation de leur production moyenne par espèce a donc été abandonné.

- la hauteur totale à 0,5m près, mesurée à l'aide d'un bambou de 6,5m gradué tous les 0,5m;

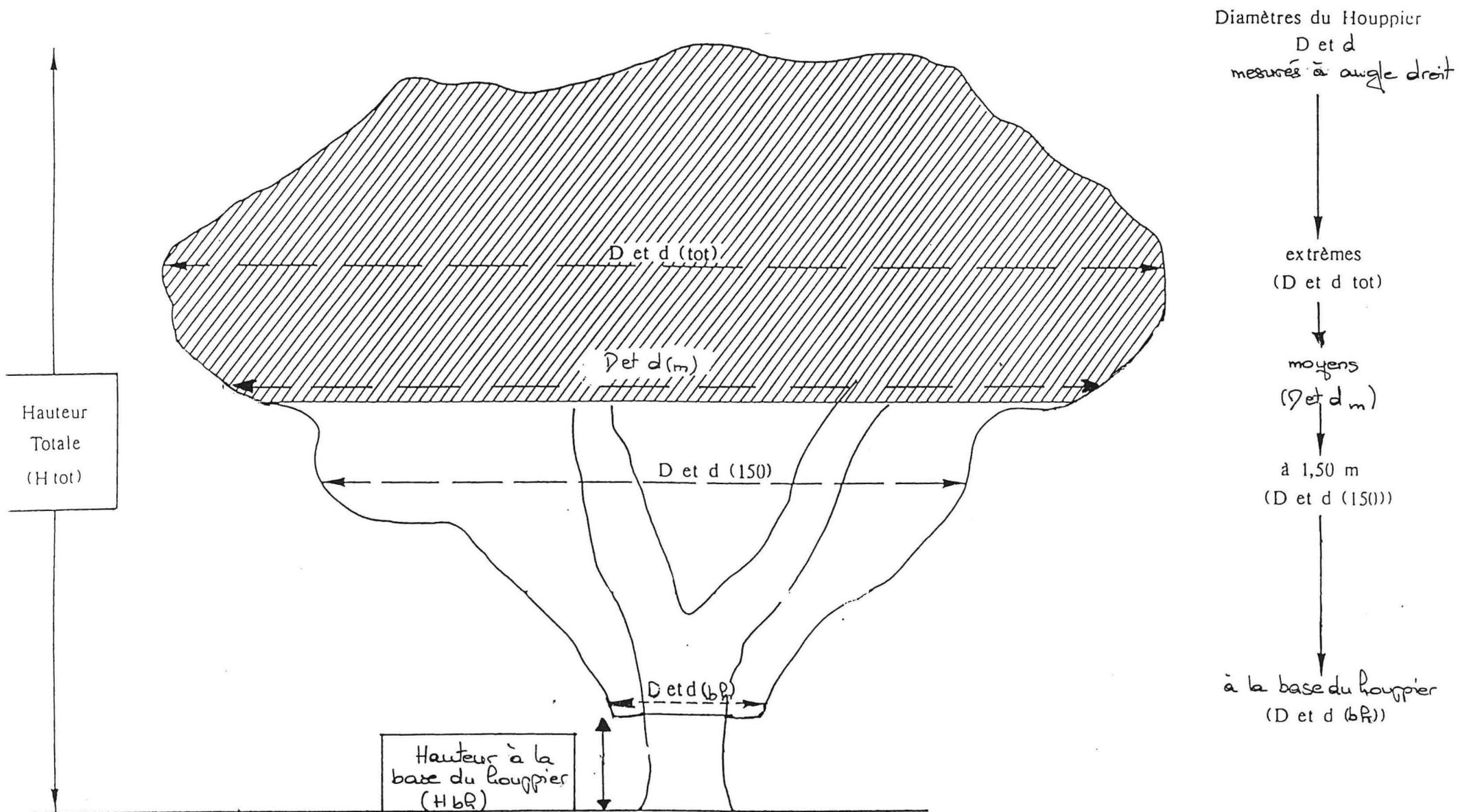
- la hauteur moyenne (tenant compte de la forme du disponible) à la base du houppier, à 1cm près;

- les circonférences à la base du tronc, à la base des branches au début de l'expérience, puis à la base de la fourche de séparation des branches ensuite, à 1cm près;

- les diamètres de l'étendue foliaire totale, moyenne, à 1,5m, à la base du houppier, à 0,1m près, et les quatre diamètres similaires à angle droit (pas nécessairement dans le même plan pour les deux premiers), mesurés à l'aide du bambou.

Ces mesures (schématisées sur la figure 8) ont servi à calculer le volume du disponible, et à comparer la méthode "Verdeur" à d'autres méthodes plus classiques de détermination de la biomasse.

Fig 3 : Mesure des mensurations sur un arbre-échantillon



### c. Prélèvements

Quatre prélèvements par arbre étaient ensuite effectués, un sur chaque face. Le volume des prélèvements, constant, était délimité par une cage en fer de 0,5m de haut, sur 0,5m de long et 0,3m de profondeur, cette dernière longueur est généralement considérée comme la pénétrabilité des épineux par les caprins. La cage est schématisée figure 9.

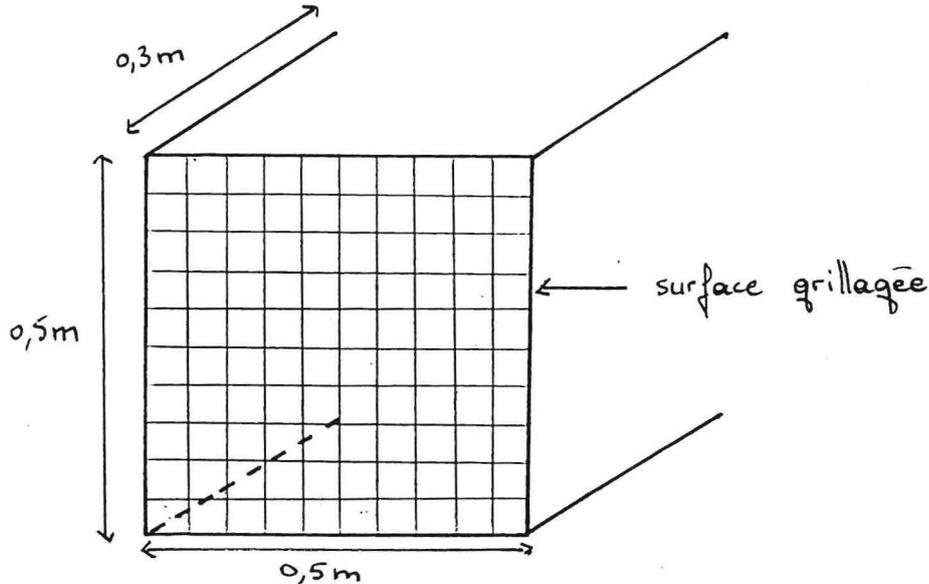


Figure 9: Schéma de la cage du protocole biomasse foliaire

La hauteur du prélèvement était elle aussi constante: entre 1,5 et 2m. En effet, afin d'évaluer un disponible foliaire, les échantillons étaient collectés à une hauteur non exploitée; de plus, en pleine saison sèche, il ne restait plus aucune feuille sous 1,5m.

Les prélèvements étaient randomisés grâce à des cartes à jouer, chaque unité représentant 0,5m, la distance sélectionnée étant reportée le long du diamètre moyen, toujours en partant de la droite.

Pendant qu'un assistant tenait la cage à cette place, un autre et/ou moi-même situé face à la cage et à une distance de 1 à 1,5m comptait les "cases vertes". La surface de la cage était quadrillée de carrés de 5cm de cotés (= "cases"). Les "cases vertes" étaient celles dont la surface était occupée par du vert à plus de 50p.100 (le vert considéré étant contenu dans la cage) (cf photo 2).

Puis tous les rameaux et feuilles contenus dans la cage étaient coupés et mis dans un sac plastique avec le numéro de l'échantillon.

Après environ trois heures de collecte, pour chaque échantillon étaient notés la longueur des rameaux (à 1cm près), ainsi que le poids des feuilles obtenu avec une balance mécanique ( $\pm 0,01g$ ), celles-ci étaient ensuite placées dans des sacs -plastiques ou papier- avec le numéro de l'échantillon. En fin de semaine, tous ces sacs étaient amenés à Makoholi Research Station, là les feuilles subissaient une dessiccation à l'étuve (24h, 80°C), et étaient pesées immédiatement à la sortie du four à l'aide d'une balance électronique ( $\pm 0,01g$ ).

La fiche de relevé sur le terrain est présentée en annexe 4.

**PHOTO 2 : Décompte du nombre de cases vertes**



**Exemple: *Dichrostachys cinerea*  
18 cases vertes**

## B. RESULTATS - DISCUSSION

### 1. LA METHODE "VERDEUR" DE L'ARBRE

On cherche à savoir si la "verdeur" de l'arbre est liée à sa production de matière sèche. Dans un premier temps, on fait donc une ANOVA (analyse de variance) pour vérifier que la "verdeur" est liée aux variables et est un facteur explicatif de la variabilité de ces variables. Dans un second temps, on cherche un modèle de régression prédictif qui nous permet de déduire la matière sèche de la "verdeur".

#### a. Analyse de variance

Les variables considérées sont la quantité de matière sèche, la plus intéressante et la plus pratique pour estimer le disponible, et la densité foliaire par rameau (en g/cm de bois) qui ne sera retenue que dans le cas où la matière sèche se révèle être une variable inappropriée; les transformations logarithmiques, souvent vérifiées dans les équations biologiques, sont aussi analysées.

Quatre modèles ont été testés, les variables dépendantes sont:

- la somme de la matière sèche des quatre prélèvements effectués sur l'arbre (SDL, en g/0,3m<sup>3</sup>)
- le logarithme de cette somme (Log SDL)
- la densité foliaire moyenne sur les quatre prélèvements (DS, en g/cm)
- le logarithme de cette densité (Log DS)

Le facteur testé est la "verdeur" (V).

Les résultats de l'analyse de variance (tableau XI et XII) indiquent que la verdeur explique une partie de la variance de ces quatre variables. Les deux derniers modèles sont cependant éliminés, puisque les deux premiers semblent satisfaisants.

TABLEAU XI : Résultats de l' ANOVA des quatre modèles testés, toutes espèces confondues

ESPECES MODELES	n	d.f	F	P<
SDL-V	100	5	31,18	0,0001
Log SDL-V	98	5	40,25	0,0001
DS-V	99	5	24,09	0,0001
Log DS-V	98	5	36,32	0,0001

n: Nombre de cas

d.f: degrés de liberté

TABLEAU XII : Résultats de l' ANOVA des quatre modèles testés, par espèces

ESPECES MODELES	<i>A.r</i>				<i>A.n</i>				<i>D.c</i>			
	n	d.f	F	P<	n	d.f	F	P<	n	d.f	F	P<
SDL-V	40	5	23,22	0,0001	27	3	19,12	0,0001	33	5	25,40	0,0001
Log SDL-V	40	5	52,36	0,0001	27	3	51,90	0,0001	31	5	9,77	0,0001
DS-V	40	5	17,39	0,0001	27	3	12,09	0,0001	32	5	6,93	0,0003
Log DS-V	40	5	44,87	0,0001	27	3	39,34	0,0001	31	5	5,53	0,0015

*A.r* : *Acacia rehmanniana*

*A.n*: *A. nilotica*

*D.c*: *Dichrostachys cinerea*

La recherche d'un modèle prédictif des variables SDL et Log SDL, à partir de la "verdeur" peut donc être envisagé.

### b. Régression prédictive des modèles

En prédictif, le plus intéressant est de savoir si on peut lier la verdeur à la matière sèche, c'est-à-dire si on peut extrapoler une classe de "verdeur" à une quantité de matière sèche.

La courbe de régression de SDL par V est présentée figure 10.

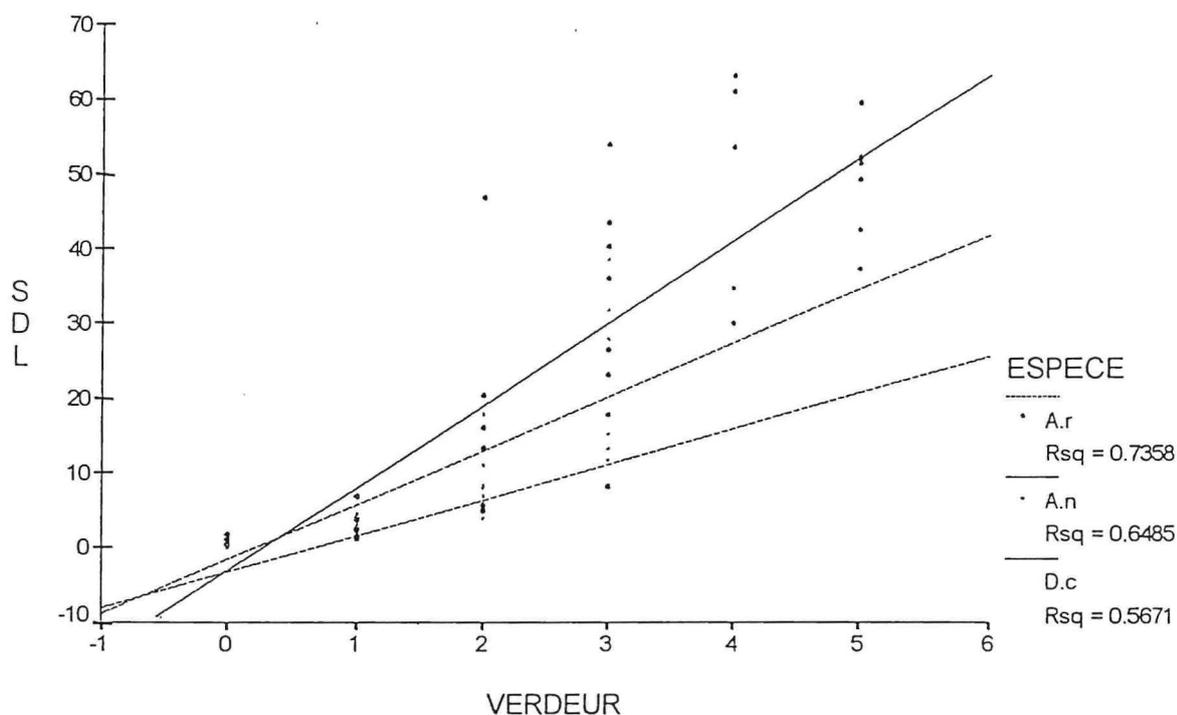


FIGURE 10 : Courbe de régression de SDL par V

Les équations de régression linéaire de la matière sèche par la verdeur sont:

- A.r:  $SDL = 11,01 (+/-1,07) * V - 2,92 (+/-3,11)$   $R^2 = 0,74$

- A.n:  $SDL = 7,24 (+/- 1,07) * V - 1,55 (+/-1,93)$   $R^2 = 0,65$

- D.c:  $SDL = 4,79 (+/-0,75) * V - 3,21 (+/-1,94)$   $R^2 = 0,57$

Sur la figure 10, on décèle une croissance exponentielle de la variable SDL, la transformation logarithmique (fig. 11) a par conséquent été testée.

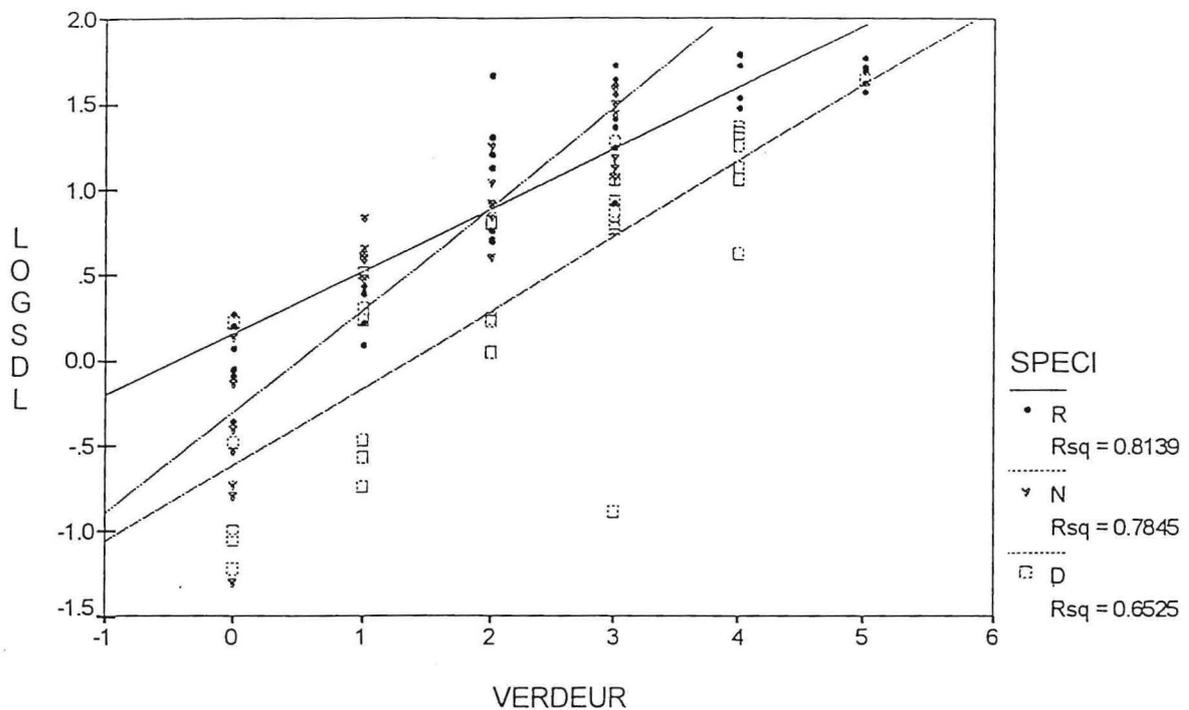


FIGURE 11: Courbe de régression de Log SDL par V

Les équations obtenues sont les suivantes:

- *A. r.*:  $\text{Log SDL} = 0,36 (+/-0,03) * V + 0,16 (+/-0,08) \quad R^2 = 0,81$

- *A. n.*:  $\text{Log SDL} = 0,60 (+/-0,06) * V - 0,30 (+/-0,11) \quad R^2 = 0,78$

- *D. c.*:  $\text{Log SDL} = 0,45 (+/-0,06) * V - 0,61 (+/-0,16) \quad R^2 = 0,65$

Les coefficients explicatifs ( $R^2$ ) sont supérieurs, il semble donc que la transformation logarithmique donne une meilleure estimation de la matière sèche.

Les modèles de prédiction de matière sèche s'avèrent donc intéressants. Ils sont de plus pratique puisqu'ils traduisent directement le disponible.

Les coefficients explicatifs des modèles fondés sur la densité sont présentés à titre indicatif dans le tableau XIII.

TABLEAU XIII : Coefficients explicatifs des modèles "Densité"

ESPECES MODELES	<i>A. r.</i>	<i>A. n.</i>	<i>D. c.</i>
DS-V	0,68	0,60	0,48
Log DS-V	0,78	0,74	0,47

Ces coefficients sont bons, mais cependant inférieurs à ceux des deux premiers modèles. Ceci est une justification supplémentaire à l'élimination des variables "Densité".

### c. Amélioration du modèle

Afin d'améliorer les modèles, une comparaison de moyennes entre classes de verdeur et par espèce, a été entreprise. Il a résulté de cette analyse un regroupement de classes qui n'étaient pas significativement différentes: 4 et 5 pour *A. r.*; 0 et 1, 2 et 3, 4 et 5 pour *D. c.* Ces deux dernières classes ont été regroupées, car un seul arbre de verdeur 5 a été prélevé; il est donc

impossible de conclure pour la comparaison de moyennes. Signalons néanmoins que les valeurs des variables SDL et Log SDL de cet arbre ne sont pas incluses dans la variance de la classe de verdure 4 de cette espèce, particulièrement en ce qui concerne la variable SDL (cf fig. 8 et 9). En ce qui concerne *A.n.*, aucun arbre de verdure 4 et 5 n'a pu être identifié, les quatre autres classes sont, quant à elles, significativement différentes.

La même démarche que précédemment a été appliquée, avec une analyse de variance et une régression prédictive.

Les résultats de l'ANOVA pour les nouvelles classes de "Verdeur" figurent dans le tableau XIV.

TABLEAU XIV : Résultats de l'ANOVA des modèles améliorés

ESPECES MODELES	<i>A.r</i>				<i>D.c</i>			
	n	d.f	F	P<	n	d.f	F	P<
SDL-V	40	4	29,89	0,0001	33	2	18,72	0,0001
Log SDL-V	40	4	67,35	0,0001	31	2	20,31	0,0001

Les nouvelles équations sont:

$$- A.r: \quad \text{SDL} = 10,25 (+/-0,95) * V - 2,39 (+/-2,92) \quad R^2 = 0,76$$

$$\text{Log SDL} = 0,33 (+/-0,03) * V + 0,19 (+/-0,08) \quad R^2 = 0,80$$

$$- D.c: \quad \text{SDL} = 3,71 (+/-0,61) * V + 0,08 (+/-1,60) \quad R^2 = 0,55$$

$$\text{Log SDL} = 0,32 (+/-0,05) * V - 0,24 (+/-0,15) \quad R^2 = 0,55$$

Les coefficients explicatifs des modèles linéaires sont identiques avec 6 classes ou avec les nouvelles classes, mais de plus, il est sûr que ces dernières sont significativement différentes.

En ce qui concerne la transformation logarithmique, ces coefficients sont un peu moins bons avec les nouvelles classes (0,80 pour *A.r* et 0,55 pour *D.c*); et identiques à ceux du modèle linéaire.

#### d. Discussion

Les prélèvements ont été effectués en pleine saison sèche, sur des espèces très appréciées, ce qui explique le défaut d'arbres dans certaines classes de verdure : seulement quatre classes ont pu être représentées pour *A. nilotica*, et seul un *Dichrostachys* classé 5 a été identifié, il en aurait évidemment fallu un plus grand nombre pour pouvoir justifier ou non le regroupement des classes 4 et 5.

Les modèles sont tous plus ou moins prédictifs de façon satisfaisante. Pour faciliter leur emploi en application, un seul doit être sélectionné. Les deux modèles "densité foliaire" ont déjà été écartés. Pour les deux autres, la comparaison des coefficients explicatifs semble indiquer une meilleure estimation de la matière sèche par la transformation logarithmique. Mais la comparaison des coefficients de corrélation (test z) révèle que ceux-ci ne sont pas significativement différents. De plus, BARNES et al., 1976, pensent que la transformation logarithmique amplifie l'erreur de l'estimation de la matière sèche (cf chapitre III. B. de la partie bibliographique). On peut néanmoins garder l'idée que ce modèle logarithmique est intéressant,

puisque la courbe Log SDL-V suit une forme exponentielle; mais il ne présente aucun gain pour nos données.

Le modèle linéaire SDL-V, significatif, très simple, et très pratique, est par conséquent celui à retenir. Il est synthétisé dans le tableau ci-dessous .

TABLEAU XV : Equations retenues pour la méthode "Verdeur", par espèce

- <i>A . r</i> :	$SDL = 10,25 (+/-0,95) * V - 2,39 (+/-2,92)$	$R^2 = 0,76$
- <i>A . n</i> :	$SDL = 7,24 (+/- 1,07) * V - 1,55 (+/-1,93)$	$R^2 = 0,65$
- <i>D . c</i> :	$SDL = 3,71 (+/-0,61) * V + 0,08 (+/-1,60)$	$R^2 = 0,55$

La méthode "Verdeur" s'avère donc simple et rapide. Cependant, la notation de la "verdeur" est subjective, il est donc nécessaire de la tester sur un échantillon d'utilisateurs, ou mieux, de former ceux-ci afin d'obtenir une évaluation standard. De plus, il est nécessaire de répéter à nouveau le protocole en saison des pluies afin de connaître la biomasse maximale, de retester les classes de "verdeur" (les regroupements seraient peut-être différents), et il faudrait aussi l'appliquer à d'autres espèces.

## 2. METHODE "CASES VERTES"

On tente de savoir si le nombre de "cases vertes" est lié à la densité foliaire ou à la quantité de matière sèche contenue dans la cage. L'analyse s'effectue de la même façon que dans le chapitre précédent avec une ANOVA, puis une régression prédictive.

### a. Analyse de variance

Comme dans la méthode "verdeur", les variables matière sèche et densité foliaire, ainsi que les transformations logarithmiques ont été étudiées.

De nombreux modèles ont été testés :

- Densité foliaire dans la cage (DC, en g/cm) par nombre de "cases vertes" (CV)
- Log DC par CV
- Log DC par Log CV
- Densité foliaire moyenne de l'ensemble des prélèvements de l'arbre (DP, en g/cm) par CV
- Log DP par CV
- Matière sèche par cage (MS, en g) par CV
- Log MS par CV
- Somme des matières sèches de l'ensemble des prélèvements de l'arbre (SMS, en g) par la somme des nombres de "cases vertes" (SCV)
- Log SMS par SCV

Les résultats de l'ANOVA (Tableau XVI et XVII) indiquent que le nombre de "cases vertes" explique une partie de la variance de ces variables.

TABLEAU XVI : Résultats de l'ANOVA des modèles de la méthode "Cases vertes", toutes espèces confondues

ESPECES MODELES	Toutes espèces			
	n	d.f	F	P<
DC-CV	383	25	12,80	0,0001
LogDC-CV	329	25	22,15	0,0001
LogDC-LogCV	255	24	7,63	0,0001
DP-CV	99	18	6,10	0,0001
LogDP-CV	98	18	8,36	0,0001
MS-CV	144	25	39,98	0,0001
LogMS-CV	332	25	50,66	0,0001
SMS-SCV	79	30	7,44	0,0001
LogSMS-SCV	77	30	14,99	0,0001

TABLEAU XVII : Résultats de l'ANOVA des modèles de la méthode "Cases vertes", par espèce

ESPECES MODELES	<i>A.r</i>				<i>A.n</i>				<i>D.c</i>			
	n	d.f	F	P<	n	d.f	F	P<	n	d.f	F	P<
DC-CV	162	22	10,23	0,0001	107	18	8,26	0,0001	114	21	16,99	0,0001
LogDC-CV	152	22	18,83	0,0001	87	18	8,39	0,0001	90	21	7,61	0,0001
LogDC-LogCV	111	21	6,36	0,0001	70	17	3,10	0,0009	70	20	2,84	0,0015
DP-CV	41	14	8,09	0,0001	27	10	9,72	0,0001	31	12	6,25	0,0003
LogDP-CV	41	14	6,76	0,0001	27	10	4,22	0,0053	30	12	2,53	0,0396
MS-CV	164	22	48,78	0,0001	108	18	30,26	0,0001	131	21	28,83	0,0001
LogMS-CV	154	22	68,97	0,0001	88	18	19,04	0,0001	90	21	19,74	0,0001
SMS-SCV	20	11	158,55	0,0001	27	16	41,70	0,0001	32	15	80,73	0,0001
LogSMS-SCV	20	11	59,27	0,0001	27	16	7,89	0,0011	30	15	21,34	0,0001

Le meilleur modèle prédictif de ces variables est donc maintenant recherché.

### b. Régression prédictive

Cette régression a pour but d'extrapoler un nombre de "cases vertes" à une quantité de matière sèche ou à une densité foliaire.

Le tableau XVIII donne les coefficients explicatifs des différents modèles pour chaque espèce.

TABLEAU XVIII : Coefficients explicatifs des différents modèles de la méthode "Cases vertes"

ESPECES MODELES	<i>A.r</i>	<i>A.n</i>	<i>D.c</i>
DC-CV	0,27	0,41	0,39
Log DC-CV	0,39	0,35	0,35
Log DC-Log CV	0,45	0,39	0,37
DP-CV	0,35	0,78	0,33
Log DP-CV	0,42	0,44	0,29
MS-CV	0,78	0,64	0,69
Log MS-CV	0,60	0,55	0,51
SMS-SCV	0,86	0,66	0,78
Log SMS-SCV	0,78	0,60	0,56

Les deux modèles les plus intéressants sont donc:

- MS par CV
- SMS par SCV

On note aussi le bon coefficient explicatif du modèle DP par CV pour *A. nilotica*.

Les équations de régression sont les suivantes:

*A.r*:       $MS = 0,91 (+/-0,04) * CV + 1,42 (+/-0,30)$        $R^2 = 0,78$

$SMS = 1,10 (+/-0,10) * SCV + 3,11 (+/-2,70)$        $R^2 = 0,86$

*A.n*:       $MS = 0,59 (+/-0,04) * CV + 0,14 (+/-0,24)$        $R^2 = 0,64$

$SMS = 0,58 (+/-0,08) * SCV + 0,62 (+/-1,65)$        $R^2 = 0,66$

*D.c*:       $MS = 0,43 (+/-0,03) * CV + 0,33 (+/-0,16)$        $R^2 = 0,69$

$SMS = 0,48 (+/-0,05) * SCV + 0,66 (+/-1,02)$        $R^2 = 0,78$

### c. Discussion

Plusieurs sources d'erreur interviennent dans le décompte des "cases vertes". Tout d'abord, l'erreur liée à l'individu; de plus, il était difficile de tenir la cage totalement immobile; la perspective, c'est-à-dire la position de la personne par rapport à la cage, était aussi une cause de variation du nombre trouvé; enfin, par jour de grand vent, les feuilles bougeaient parfois beaucoup, rendant le décompte difficile.

Si un seul modèle doit être retenu, ce sera SMS-SCV, qui présente des coefficients explicatifs supérieurs à ceux de MS-CV, et qui atténue les erreurs dues aux variations inter-prélèvements, puisqu'il s'attache à la somme.

Dans le modèle DP-CV, seul *A. nilotica* présente un bon coefficient explicatif (même meilleur que celui des deux modèles retenus). Or cette espèce ayant de petites feuilles, les "cases vertes" comptées sont celles dont au moins un tiers de la surface est verte, tandis que cette proportion est de 50 p.100 pour les deux autres espèces. Il serait donc intéressant de tester à nouveau ce modèle en comptant les cases qui sont vertes à au moins 33p.100.

### 3. COMPARAISON DE LA METHODE "VERDEUR" AVEC D'AUTRES METHODES

La différence d'estimation de la matière sèche par la méthode "verdeur" et par d'autres méthodes est étudiée.

#### a. Comparaison méthode "verdeur" - modèle densité volumique

Le modèle densité volumique donne l'évaluation la plus juste de la matière sèche foliaire disponible (MS1), puisqu'il applique la somme des matières sèches (SDL) des quatre prélèvements (qui représente un volume de 0,3 m<sup>3</sup>) au volume du disponible ( Vd):

$$MS1 = (Vd/0,3) * SDL$$

Vd est calculé à partir de la forme du disponible et des mesures de l'arbre.

La matière sèche disponible estimée à partir de la "verdeur" V (MSV) s'obtient à partir des équations de régression de la forme  $a*V+b$  (cf chapitre II.B.1.b. de la partie expérimentale) et du volume disponible:

$$MSV = (Vd/0,3) * (a*V+b)$$

La régression du modèle "verdeur" par le modèle densité volumique permet de tester les similarités de prédiction par les deux méthodes ( $R^2$  donne le pourcentage de cas d'un modèle compris dans la variance de l'autre modèle et si  $R^2=1$ , 100p.100 des prédictions sont identiques par les deux modèles). Or les coefficients explicatifs obtenus sont très bons (0,87 pour *Acacia rehmanniana*; 0,95 pour *Acacia nilotica* et 0,84 pour *Dichrostachys cinerea*). Ce qui revient à dire que les méthodes "verdeur" et densité volumique donnent donc une estimation "similaire" de la matière sèche respectivement dans 87; 95 et 84 p.100 des cas.

Le graphe (fig. 12) montre que les évaluations semblent moins concorder pour de grandes quantités de matières sèches.

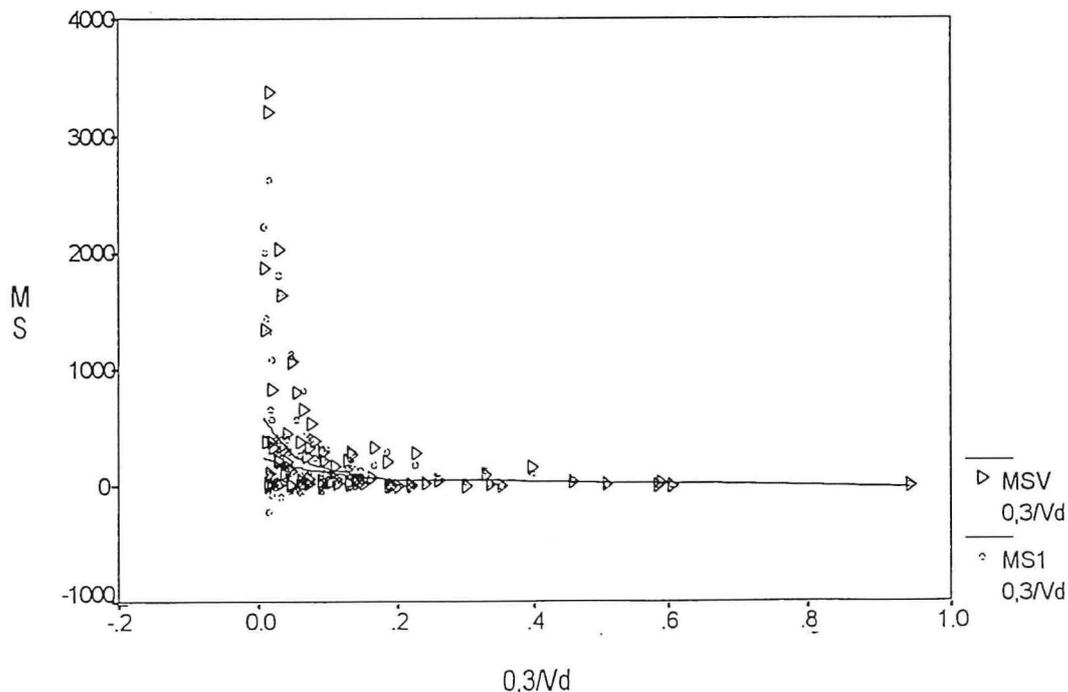


FIGURE 12: Comparaison des estimations de matière sèche par les méthodes "Verdeur" et densité volumique, toutes espèces confondues

Les deux courbes donnant ces estimations en fonction du pourcentage (P) que représente le volume de quatre cages par rapport au volume disponible ont donc été superposées (fig. 13 à 15), pour chaque espèce.

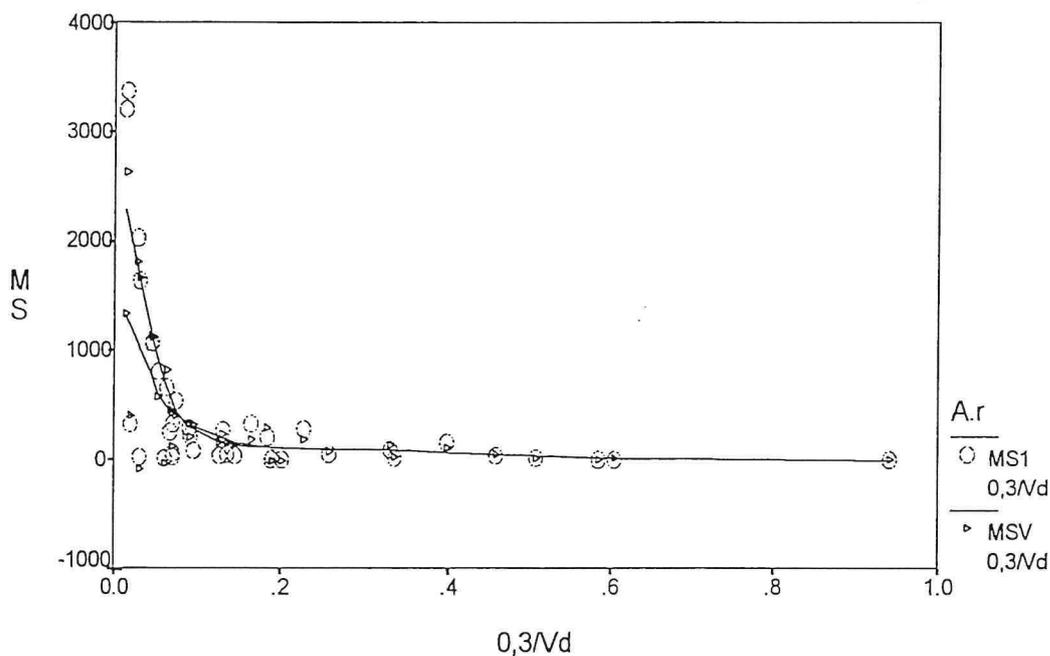


FIGURE 13: Comparaison des estimations de matière sèche par les méthodes "Verdeur" et densité volumique, pour *Acacia rehmannaiana*

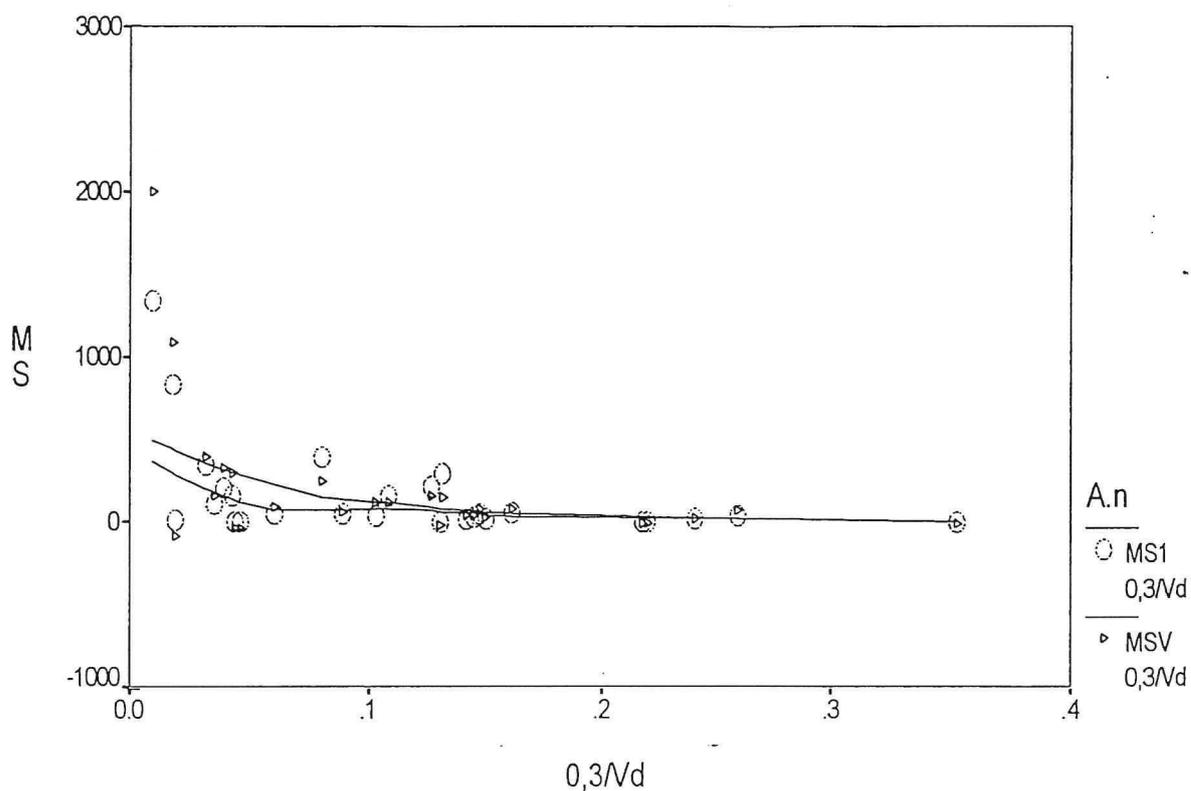


FIGURE 14: Comparaison des estimations de matière sèche par les méthodes "Verdeur" et densité volumique, pour *Acacia nilotica*

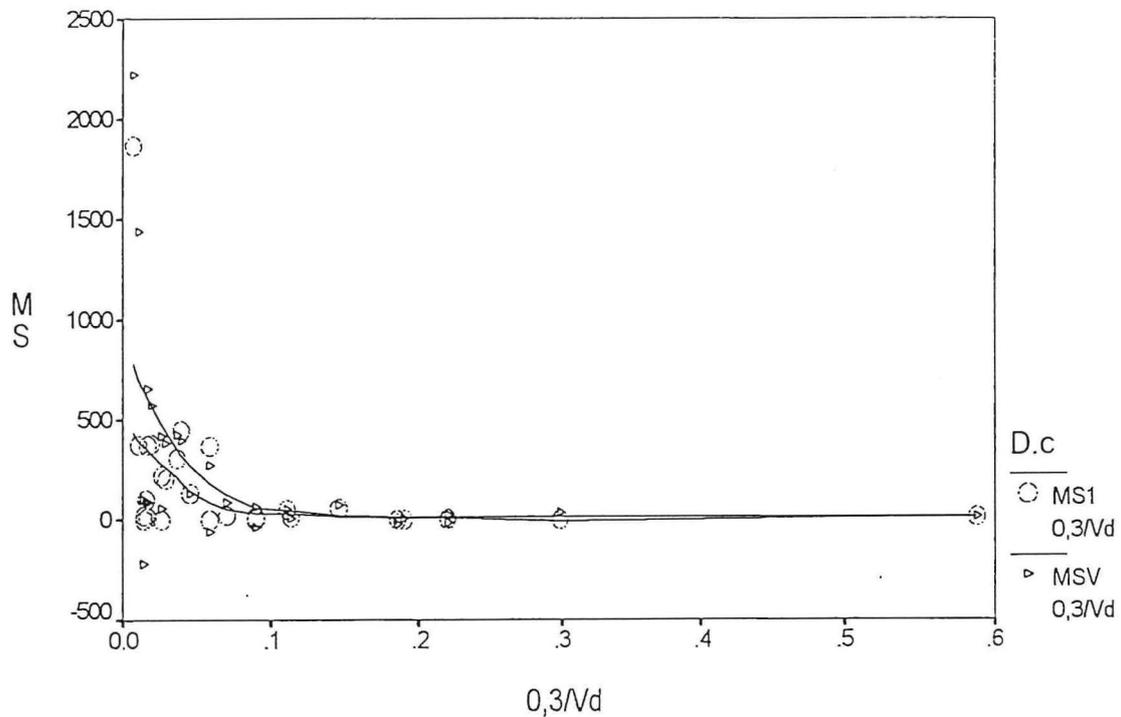


FIGURE 15: Comparaison des estimations de matière sèche par les méthodes "Verdeur" et densité volumique, pour *Dichrostachys cinerea*

Jusqu'à une valeur de P de 10 p.100, les deux approximations diffèrent légèrement, avec une sous estimation de la matière sèche par la méthode "Verdeur" pour *A. rehmanniana*, et une surestimation pour les deux autres espèces.

L'augmentation de l'écart en prédiction pour les arbres de grande taille s'explique parfaitement, puisque pour ceux-ci l'échantillon est très petit, et l'erreur à l'extrapolation est plus importante.

#### b. Recherche de modèles allométriques à partir de nos données

Malheureusement, une seule relation allométrique a été trouvée dans la bibliographie pour les trois espèces ligneuses étudiées. CISSE et SACKO, 1978, donne en effet pour *A. nilotica*:

$$BM = 0,51 * C^{2,36}$$

avec: BM: biomasse foliaire au maximum de feuillaison (g MS)  
C: circonférence du tronc à 40cm

Or l'étude ne s'est pas déroulée à la feuillaison maximale (il faudrait donc corriger BM par le taux de feuillaison, calculé par la méthode des rameaux standards), et surtout cette circonférence n'a pas été relevée dans le protocole. Cette relation n'est donc pas exploitable à partir de nos données.

La recherche d'équations à partir des mesures prises lors de l'étude a donc été tentée.

Plusieurs modèles ont été testés. Ci-dessous sont présentés les résultats des modèles les plus intéressants.

$$A. r : MS = 1056 (+/-166) * D_{bc} - 688 (+/182) * H - 1801 (+/-507) * \text{Log } D_{bc} - 658 (+/-246)$$

$$n = 40; R^2 = 0,73; F = 32,3; P < 0,0001$$

$$A. n : MS = 238 * D_1 - 21 * D_2 - 127$$

$$n = 26; R^2 = 0,81; F = 50,1; P < 0,0001$$

$$D. c : MS = 945 * D_1 - 401 * H - 5045 * \text{Log } D_{150} - 1116 * \text{Log } D_{bc} + 1323 * \text{Log } D_m - 55$$

$$n = 25; R^2 = 0,90; F = 35,9; P < 0,0001$$

avec: MS : Matière sèche foliaire disponible  
 D<sub>bc</sub> : Moyenne des diamètres à angle droit de la base du houppier  
 H : Hauteur de la base du houppier  
 D<sub>150</sub> : Moyenne des deux diamètres à angle droit à 1,5m  
 D<sub>1</sub> : Moyenne de D<sub>bc</sub> et de D<sub>150</sub>  
 D<sub>2</sub> : Diamètre du tronc juste sous la première fourche  
 D<sub>m</sub> : Moyenne des deux diamètres moyens du houppier

Ces équations sont donc complexes (nombreuses variables, nombreux calculs intermédiaires) et nécessitent plusieurs mesures de l'arbre. Même si les coefficients explicatifs semblent meilleurs que ceux des relations retenues du modèle "verdeur" pour *A. nilotica* et *D. cinerea*, cette dernière méthode est tout de même à retenir, car elle est beaucoup plus rapide et facilement applicable sur le terrain. En effet, quelque soit l'espèce ligneuse considérée, les mêmes mesures sont toujours relevées (cf chapitre suivant II.B.4)

### c. Comparaison de la méthode "Verdeur" et de la méthode "Cases vertes"

Le nombre de "cases vertes" représente théoriquement la masse foliaire, c'est une mesure comptée de l'indice de verdeur. Une comparaison des deux méthodes "Verdeur" et "Cases vertes" a donc été effectuée au travers d'une régression linéaire (selon le même principe que dans le chapitre II.B.3.a), afin de connaître la prédiction de l'une par rapport à l'autre.

Les régressions de CV et de SCV par V ont été réalisées:

Les coefficients explicatifs (tableau XIX) indiquent que SCV donne une approximation plus proche de celle obtenue par la "verdeur". Ceci semble logique, puisque le pourcentage de l'échantillon par rapport à l'arbre est multiplié par quatre entre CV et SCV, la force de l'extrapolation est donc atténuée.

TABLEAU XIX : Coefficients R<sup>2</sup> des régressions de comparaison entre les méthodes "Verdeur" et "Cases vertes"

ESPECES REGRESSION	A.r	A.n	D.c
CV-V	0,42	0,49	0,37
SCV-V	0,60	0,79	0,58

Si l'on considère le modèle retenu pour la méthode "Cases vertes", soit celui fondé sur SCV, dans 21 à 42 p.100 des cas (cf tableau ci-dessus), les prédictions par les deux méthodes sont très différentes.

De plus, la comparaison des coefficients explicatifs par espèce de chaque modèle retenu pour chacune des méthodes, semble indiquer une meilleure estimation de la biomasse par la méthode "Cases vertes". Celle-ci est en effet plus objective, puisqu'elle s'appuie sur une quantification de la verdeur. Elle traduit donc directement la matière sèche foliaire contenue dans la cage, tandis que la "verdeur" représente la matière sèche foliaire totale de l'arbre. La

méthode "Verdeur" est néanmoins beaucoup plus facilement applicable sur le terrain, et reste celle retenue.

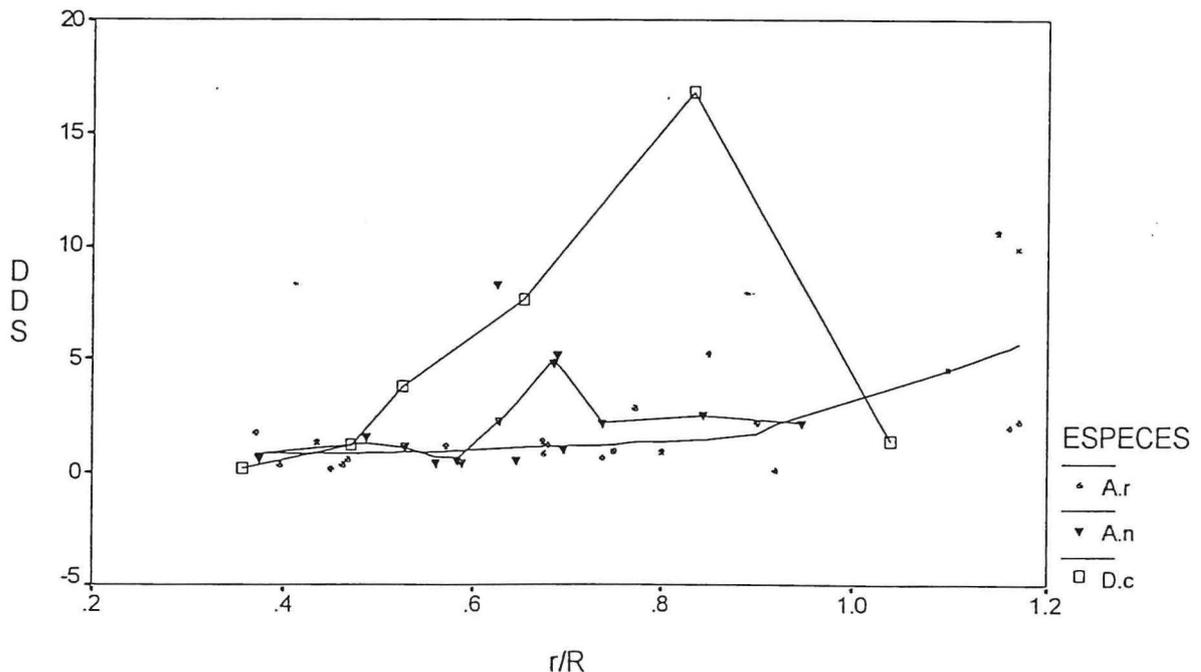
#### 4. VOLUMES MOYENS DU DISPONIBLE

Au total, quatre formes moyennes ont été relevées pour les trois espèces étudiées. Le tableau XX donne la part de chacune de ces formes par espèce.

TABLEAU XX : Formes moyennes du disponible par espèce ligneuse ( en pourcentage)

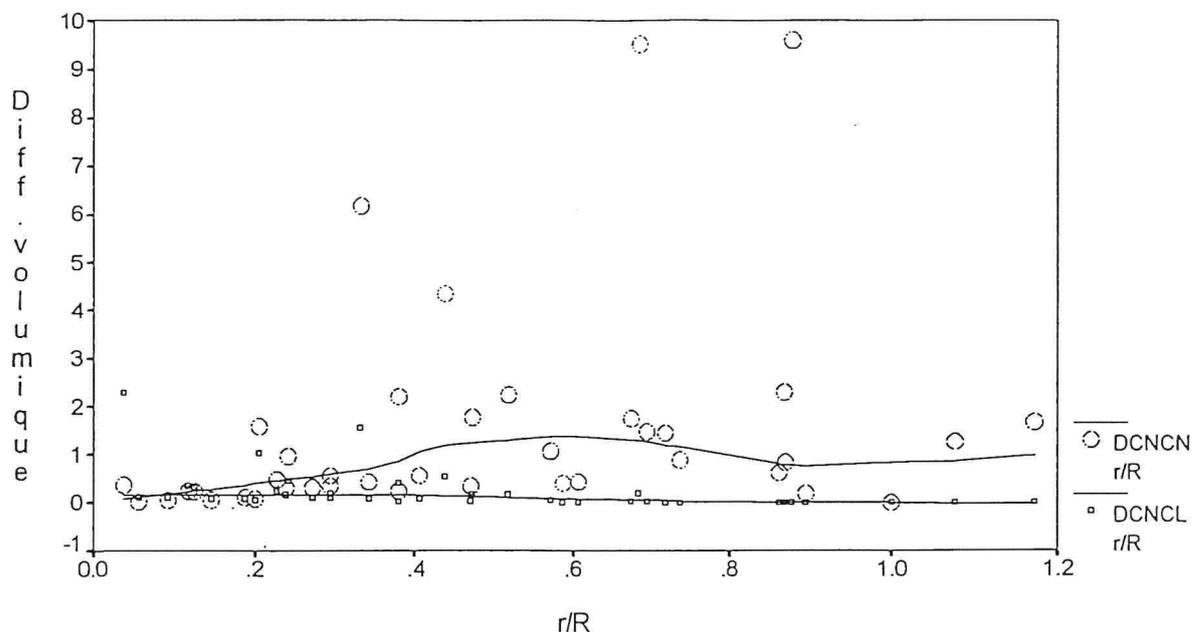
	A. rehmanniana	A. nilotica	D. cinerea
Cône tronqué	34,1	33,3	71,4
Zone sphérique	54,5	55,6	20,0
Rectangle	6,8	0	0
Cylindre	0	11,1	0
Indéfinie	4,6	0	8,6

Trois formes sont donc prépondérantes: la zone sphérique, le cône tronqué et le cylindre. Pour savoir si l'approximation à des formes parfaites est envisageable, il faut connaître l'erreur liée à cette assimilation. La différence entre le volume parfait et le volume réel est liée au rapport des rayons  $r/R$  (Rayon à la base du houppier / Rayon du houppier à 1,5m). Ces courbes ont donc été tracées.



avec: DDS: Différence volumique entre une zone sphérique et une calotte sphérique

FIGURE 16: Différence volumique entre une zone sphérique et une calotte sphérique, par espèce



avec: DCNCN: Différence volumique entre un cône tronqué et un cône parfait  
 DCNCL: Différence volumique entre un cône tronqué et un cylindre

FIGURE 17: Différence volumique entre un cône tronqué et un cône parfait d'une part, entre un cône tronqué et un cylindre d'autre part

La courbe ( fig. 16) montre que pour une valeur de  $r/R \leq 0,5$ , l'approximation d'une zone sphérique à une calotte sphérique est possible (erreur  $\leq 2m^3$ ).

Celle d'un cône tronqué à un cône parfait (fig.17) est correcte pour une valeur de  $r/R \leq 0,35$  (erreur  $\leq 2m^3$ ), au delà la différence entre les volumes est extrêmement irrégulière.

L'approximation d'un cône tronqué à un cylindre (fig.17) est valable pour  $r/R \geq 0,04$ , (pour  $r/R < 0,04$ , il existe un seul cas , il est donc impossible de conclure). L'erreur sur cette approximation est très faible: 0,4 à  $1m^3$ , exception faite de 3 cas sur 49, (pour ces trois cas, l'erreur est comprise entre 1,4 et  $2,7m^3$ ).

Au total quatre formes sont donc à retenir, elles figurent dans le tableau XXI.

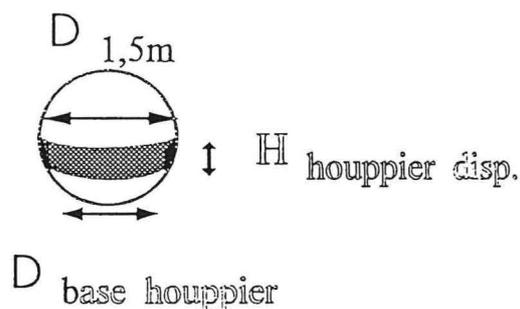
TABLEAU XXI: Formes moyennes du disponible à retenir en fonction de  $r/R$   
 . (Rayon à la base du houppier / Rayon du houppier à 1,5m)

Volume moyen	Volume approximé	$r/R$
Zone sphérique	Calotte sphérique	$\leq 0,5$
Zone sphérique	Zone sphérique	$> 0,5$
Cône tronqué	Cône parfait	$< 0,35$
Cône tronqué	Cylindre	$\geq 0,04$

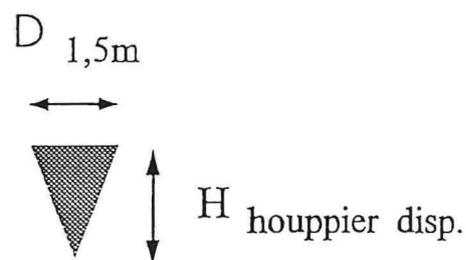
Les résultats de ce tableau sont en accord avec ceux d'ICKOWICZ, 1994. Ce dernier a aussi travaillé sur l'attribution de formes aux espèces ligneuses pour le calcul des volumes du houppier dans le Sahel tchadien. Il a pour sa part retenu le cône, le cylindre, la calotte sphérique, ainsi que la sphère et le cône surmonté d'une demi-sphère, ces deux dernières formes étant applicables uniquement au houppier total, elles ne figurent pas dans le tableau. En revanche, il n'a pas retenu la zone sphérique.

Les dimensions nécessaires pour calculer le volume moyen du disponible sont schématisées dans la figure 18.

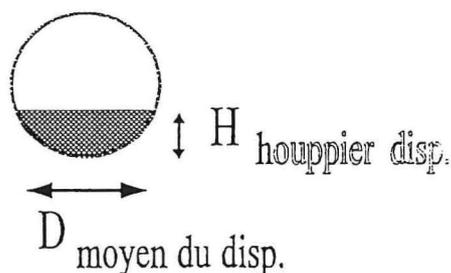
### ZONE SPHERIQUE



### CONE



### CALOTTE SPHERIQUE



### CYLINDRE

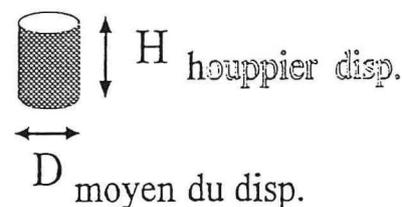


FIGURE 18: Formes moyennes du disponible et dimensions à retenir

## 5. TABLEAU DE SYNTHESE DE L'APPLICATION DE LA METHODE "VERDEUR"

Les tableaux de l'annexe 5 sont destinés à l'application de la méthode "Verdeur" sur le terrain. Ils fournissent directement une catégorie de biomasse foliaire disponible en fonction de l'espèce, de la forme du disponible, des dimensions de l'arbre et de sa "verdeur". L'utilisateur n'a donc plus aucun calcul à faire, sauf celui de  $r/R$  afin de savoir à quelle forme il peut approximer le disponible.

### EXEMPLE :

Considérons un *Dichrostachys cinerea* de verdeur 3, pour lequel  $r = 1\text{m}$ ,  $R = 3\text{m}$ ,  $h_{\text{can}} = 0,7\text{m}$ , et la forme moyenne du disponible est un cône tronqué. On a  $r/R = 0,3$ , on peut donc approximer le disponible à un cylindre, de diamètre = 2m. La lecture dans le tableau correspondant (annexe 5) donne une biomasse foliaire sèche disponible évaluée à 82,17g.

## CONCLUSION

Dans le premier volet de ce document, l'appétibilité des espèces ligneuses pour les caprins a été approchée par un indice d'attractivité. Dans la formation végétale étudiée (Miombo et savanne à *Acacia*), les arbres présentant la meilleure attractivité sont *Acacia rehmanniana*, *Ziziphus mucronata*, *Acacia nilotica* et *Dichrostachys cinerea*.

Mais ce classement ne tient pas compte de la quantité ingérée, du site où se trouve l'animal, c'est-à-dire de son environnement végétal. Il ne traduit donc pas exactement l'appétibilité, mais donne plutôt une idée des préférences alimentaires.

Dans le second volet, une méthode d'évaluation de la biomasse foliaire ligneuse disponible par la "verdeur" est proposée. Elle semble être un bon outil de terrain: simple et rapide, et devrait permettre un calcul moins fastidieux de capacité de charge. L'étude a cependant été très ponctuelle dans le temps, et n'a de plus pas été réalisée à la meilleure saison, c'est-à-dire au maximum de feuillaison. Ceci a néanmoins permis de définir six classes de "verdeur", mais les regroupements effectués sur ces catégories seraient peut-être différents en pleine saison des pluies, notamment la classe 5 pourrait s'avérer significativement différente de la 4. Il serait donc intéressant de tester à nouveau ce modèle au maximum de feuillaison et de tenir compte des variations phénologiques au cours de l'année.

Les deux thèmes abordés dans ce document ne sont que deux éléments des quatre étapes nécessaires à la détermination d'une capacité de charge. Le cheminement est en effet le suivant (DELACHARLERIE, 1994):

- caractérisation du peuplement ligneux du milieu étudié (connaissance des différentes formations végétales de la zone d'étude, échantillonnage de parcelles représentatif de cette zone, connaissance dans ces parcelles de la population ligneuse: densité par espèces, paramètres physiques...);

- évaluation de la production primaire (liste hiérarchique des espèces ligneuses appréciées, biomasse foliaire au maximum de feuillaison -éventuellement aussi celle des fruits et des pousses annuelles-, répartition de cette biomasse au cours de l'année par saison);

- quantité de fourrages consommées (fourrage réellement disponible pour les animaux, part de chaque espèce dans le régime, quantités réellement ingérées);

- approche de la capacité de charge (besoins des animaux, valeur nutritive des fourrages, évaluation de la capacité de charge prenant en compte les deux strates ligneuse et herbacée).

Le processus est donc long et complexe, et l'obtention de résultats précis n'est pas aisée. De plus, il faut être vigilant et respecter le contexte défini au départ, lors de l'application de ceux-ci sur le terrain en vue de recommandation de gestion de parcours.

Il serait intéressant de tester, sur un grazing-scheme donné, une capacité de charge en caprins prédite à partir des résultats présentés dans ce document, et notamment à partir des fiches d'estimation de la biomasse foliaire (annexe 5). Il faudrait alors suivre l'évolution des indicateurs de surpâturage (augmentation de la hauteur d'exploitation des espèces appréciées, consommation d'espèces habituellement peu appréciées), afin de savoir si cette capacité est surestimée ou non.

## BIBLIOGRAPHIE

- BARNES (DL), LLOYD (BV) et Mc NEILL (L), 1976  
The use of shoot dimensions to estimate the leaf mass or leaf area of certain indigenous trees in Rhodesia  
Proc.Grassld.Soc.Sth.Afr., 11: 47-50
- BERENS (D), BONDE (D) et PLANGGER (AB), 1988  
A concise encyclopedia of Zimbabwe  
Publ. Mambo Press, Gweru, Zimbabwe
- Central Statistical Office (CSO), 1989  
Statistical Yearbook 1989  
Publ.: CSO, Harare, Zimbabwe
- Central Statistical Office (CSO), 1992  
Census 1992. Zimbabwe Preliminary Report  
Publ.: CSO, Harare, Zimbabwe
- Central Statistical Office (CSO), 1993  
Quartely Digest of Statistics 4, Déc. 1993  
Publ.: CSO, Harare, Zimbabwe
- CISSE (ML) et SACKO (B), 1978  
Etude statistique de la liaison de la biomasse foliaire et des paramètres physiques chez quelques espèces sahéliennes  
CIPEA. Programme des zones arides et semi-arides. pp109
- COOPER (SM) et OWEN-SMITH (N), 1985  
Condensed tannins deter feeding by browsing ruminants in a South African savanna  
Oecologia (Berlin), 67, 142-146
- COOPER (SM) et OWEN-SMITH (N), 1986  
Effects of plant spinescence on large mammalian herbivores  
Oecologia (Berlin), 68: 446-455
- DELACHARLERIE (PF), 1994  
Méthodes d'étude des disponibilités fourragères ligneuses. Application au calcul des capacités de charge.  
Publ. CIRAD-EMVT, Maisons-Alfort. Synthèse bibliographique, année 1993-1994
- DUCORNEZ (S), 1994  
Etude du système Herbivore-Plante dans un ranch mixte du Zimbabwe  
Mémoire de DESS, CIRAD-EMVT, Maisons-Alfort, pp47
- ETIENNE (M), 1989  
Non destructive methods for evaluating shrub biomass: a review  
Oecol.Applic., 10(2): 115-128

- FRITZ (H), DUCORNEZ (S), DE GARINE-WICHATITSKY (M), LETESSIER (G), CHIPARO (E), 1994  
Importance of browse for cattle in woodlands of Zimbabwe  
International Symposium on "Wild and Domestic Ruminants in Extensive Land Use Systems", Berlin, Oct. 1994
- GUY (PR), 1981  
The estimation of the above- ground biomass of the trees and shrubs in the Sengwa Wildlife Research Area, Zimbabwe  
S. Afr.J.Wildl.Res., 11(4): 135-142
- ICKOWICZ (A), 1994  
Approche dynamique du bilan fourrager appliquée à des formations pastorales du Sahel tchadien  
Thèse d'université, Paris XII, Val de Marne, Créteil
- KELLY (RD), 1973  
A comparative study of primary productivity under different kinds of land use in Sth Rhodesia  
Ph.D.Thesis, Univ. of Zimbabwe
- LAWTON (RM), 1980  
Les fourrages ligneux dans la forêt claire du Miombo  
in: LE HOUEROU (HN) ed.  
Browse in Africa. The current stage of knowledge.  
pp 25 - 31  
Symposium Proceedings, ILCA, Addis Ababa
- LE HOUEROU (HN), 1980 (a)  
The role of browse in the management of natural grazing lands  
in: LE HOUEROU (HN) ed.  
Browse in Africa. The current stage of knowledge.  
pp 329-338  
Symposium Proceedings, ILCA, Addis Ababa
- LE HOUEROU (HN), 1980 (b)  
Gaps in knowledge and research priorities  
in: LE HOUEROU (HN) ed.  
Browse in Africa. The current stage of knowledge.  
pp 477-484  
Symposium Proceedings, ILCA, Addis Ababa
- LIAGRE (L), 1990, non publié  
La production de chèvres en zones communales: buts, méthodes et contraintes d'intervention. Aspects fourragers.  
Rapport de fin de mission sur le projet caprin de Bikita (Zimbabwe)
- MAROVANIDZE (K), 1992  
The value of browse in animal production; a proposed evaluation system for zimbabwean marginal rainfall rangelands  
M.Sc.Thesis, Univ. of Zimbabwe

- NYAMANGARA (ME) et NDLOVU (LR), 1990  
Feeding behavior, feed intake and characteristics of the diets of indigenous goats grazed on natural vegetation in a high rainfall area of Zimbabwe  
Zimbabwe J.agric.Res., 28:
- OWEN-SMITH (N) et COOPER (SM), 1985  
Classifying african savanna trees and shrubs in terms of their palatability for browsing ungulates  
Proceedings Symposium on Plant-Herbivore Interactions, Snowbird, UT, 7-9 août 1985, pp 43-47
- OWEN-SMITH (N) et COOPER (SM), 1987  
Palatability of woody plants to browsing ruminants in a south african savanna  
Ecology, 68(2): 319-331
- REISS (D) et HARRISSON (J), 1990  
Sélection d'arbres fourragers. Expérimentation sur le site de Bikita, projet caprin au Zimbabwe.  
Rev.Elev.Méd.vét.Pays trop., 43(1): 125-134
- RIVIERE (J), 1987, non publié  
Report on vegetation survey done in Bikita on a plot on goat project
- RIVIERE (J), 1994  
Bilan de quatre années de projet franco-zimbabwéen pour le développement de l'élevage caprin en zones communales  
Capricorne, 7(1): 15-19
- SIBANDA (R), 1984, non publié  
The browsing and general behaviour of indigenous goats in thornveld
- SIBANDA (HM) et NDLOVU (LR), 1992  
The value of indigenous browseable tree species in livestock production in semi-arid communal grazing areas of Zimbabwe  
in: STARES (JES), SAID (AN), KATEGILE (JA)  
(Proceedings of the joint feed resources networks workshop held in Gaborone, Botswana, 4-8 march 1991)  
April 1992. African Feeds Research Network, Addis Ababa, Ethiopia
- SIKOSANA (JLN), non publié  
A review of goat production in Zimbabwe
- SHUMBA (C), 1992  
Goat Production in Zimbabwe. A feasibility study. Strategy for Goat Development in Gutu and Zaka Districts (Masvingo Province)  
Ed.: Belmont Press, Masvingo, Zimbabwe, 93p.
- TEAGUE (WR), 1989  
Monitoring vegetation in thorn/grass communities  
In: DANCKWERTS (JE) et TEAGUE (WR) eds.  
Veld management in the Eastern Cape  
Dpt.of Agric.Water Sup., South Africa, 99-101

- WALKER (BH), 1980  
Les ligneux fourragers en Afrique australe  
in: LE HOUEROU (HN) ed.  
Browse in Africa. The current stage of knowledge.  
pp 7-23  
Symposium Proceedings, ILCA, Addis Ababa
  
- ZIMMERMANN (I), 1980  
Factors influencing the feed intake and liveweight change of beef cattle on a mixed tree  
savanna in the Transvaal  
J.of Range Management, mars 1980, 33(2): 132-136

**ANNEXES**

**ANNEXE 1: Liste des principales espèces ligneuses présentes  
sur les terres de parcours de la province de Masvingo**

COMMON VELD WOODY SPECIES OF MASVINGO RANGELANDS

Below is a list of trees and bushes commonly found in the rangelands of Masvingo province. This compilation is intended to help officers identify most of the woody species occurring in their areas of work. The vernacular (local) names are arranged in alphabetical order. The E in parenthesis indicates edibility of fruit to man, and (B) refers to a normal browse species.

<u>LOCAL NAME</u>	<u>BOTANICAL NAME</u>
Chimvana	<i>Lopholaena coriifolia</i>
Chinanga (B)	<i>Acacia negrescens</i>
Chitarara	<i>Gardenia spatulifolia</i>
Chitatambwa	<i>Xeromphis obovata</i>
Chivhunabadza	<i>Ehretia amoena</i>
Chizhuzhu	<i>Mayetenus senegalensis</i>
Mubayamhondoro (B)	<i>Acacia rehmaniana</i>
Mubhondo/mupembere (B)	<i>Combretum molle</i>
Mubhubhunu (E,B)	<i>Grewia flavescens</i>
Mubvumira	<i>Kirkia acuminata</i>
Muchakata (E,BO)	<i>Parinari curatellifolia</i>
Muchecheni (E,B)	<i>Ziziphus mucronata</i>
Mudziyashe (B)	<i>Combretum apiculatum</i>
Mudzungu/murumanyama	<i>Xeroderris stuhlmanii</i>
Mugangacha (E)	<i>Lannea discolor</i>
Muhumbakumba (E)	<i>Bridelia mollis</i>
Mukute (E)	<i>Syzygium huillense</i>
Mukarati	<i>Burkea afrikana</i>
Munhunguru (E)	<i>Flacourtia indica</i>
Munyadza	<i>Ormocapum kirkii</i>
Munyunya/mushava	<i>Monotes glaber</i>
Muora	<i>Albizia amara</i>
Mupanda	<i>Lonchocarpus capassa</i>
Mupangara (B)	<i>Dichrostachys cinerea</i>
Mupani (B)	<i>Colophospermum mopane</i>
Mupfura (E,B)	<i>Sclerocarya caffra</i>
Mupwezha (B)	<i>Combretum fragrans</i>
Muriranyenze	<i>Albizia antunesiana</i>
Murovamhuru/mutechani (B)	<i>Combretum hereroense</i>
Muruguru (E)	<i>Carissa edulis</i>
Murwiti	<i>Dalbergia melanoxylon</i>
Musasa (B)	<i>Brachystegia spiciformis</i>
Musekesa (E,B)	<i>Piliostigma thonningii</i>
Mushangura/muchekesani (E)	<i>Euclea divinorum</i>
Mushozhowa (B)	<i>Pseudolachnostylis maprounefolia</i>
Mushuku (E,B)	<i>Uapaca kirkiana</i>
Musosoti (E)	<i>Securinega virosa</i>
Musuma (E,B)	<i>Diospyros mespiliformis</i>

Musumadombo/umqatuva	<i>Diospyros lacoides</i>
Mususu (B)	<i>Terminalia sericea</i>
Mutamba (E,B)	<i>Strychnos cocculoides</i>
Mutehwa (E)	<i>Grewia subspathulata</i>
Mutondo (B)	<i>Julbernardia globiflora</i>
Mutsviri (B)	<i>Combretum imberbe</i>
Mutufu/Munzvirimombe (B)	<i>Vangueriopsis lanciflora</i>
Muvunga (orange stem) (B)	<i>Acacia karoo</i>
Muvengahonye	<i>Canthium huilense</i>
Muzeze	<i>Peltophorum africanum</i>
Muzhumwi (B)	<i>Strychnos spinosa</i>
Rusakadze	<i>Helichrysum krausii</i>

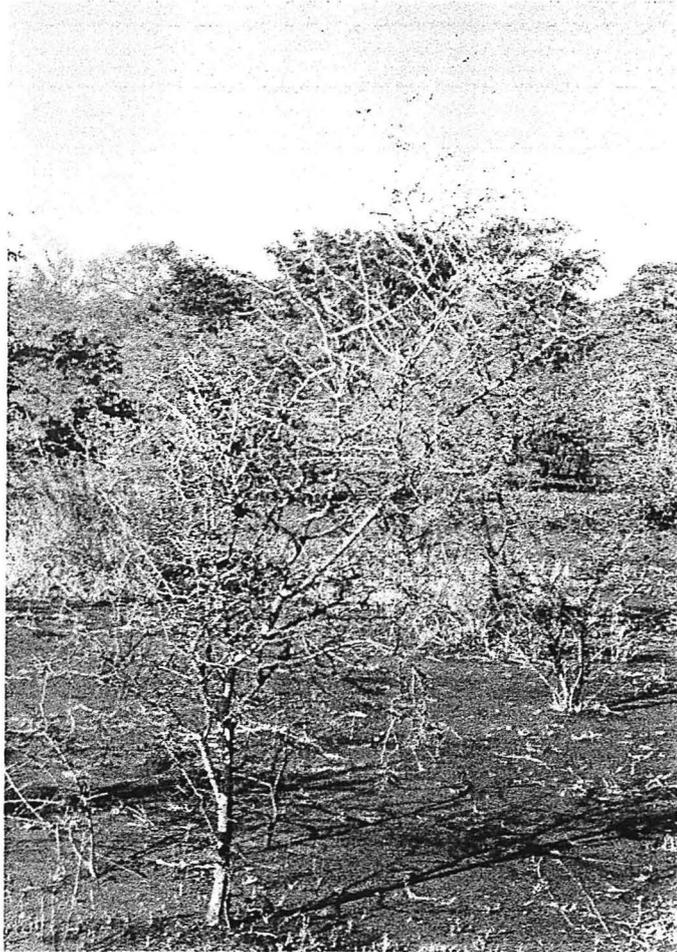
K. MAROVANIDZE  
A.E.S. (ANIMAL)



**ANNEXE 3 :**

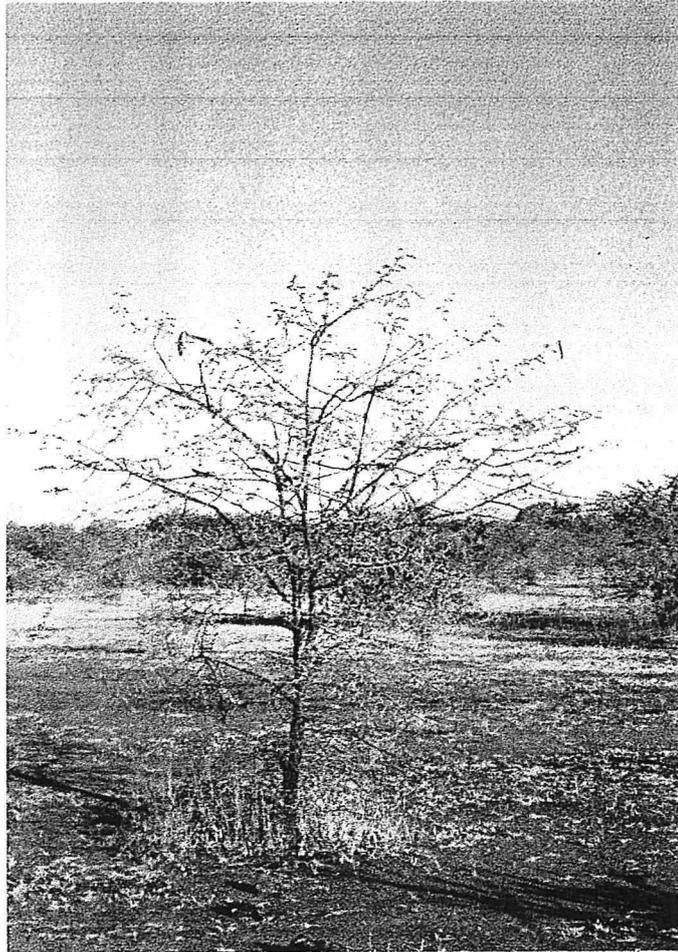
**CATALOGUE DE NOTATION DE LA VERDEUR**

VERDEUR 0



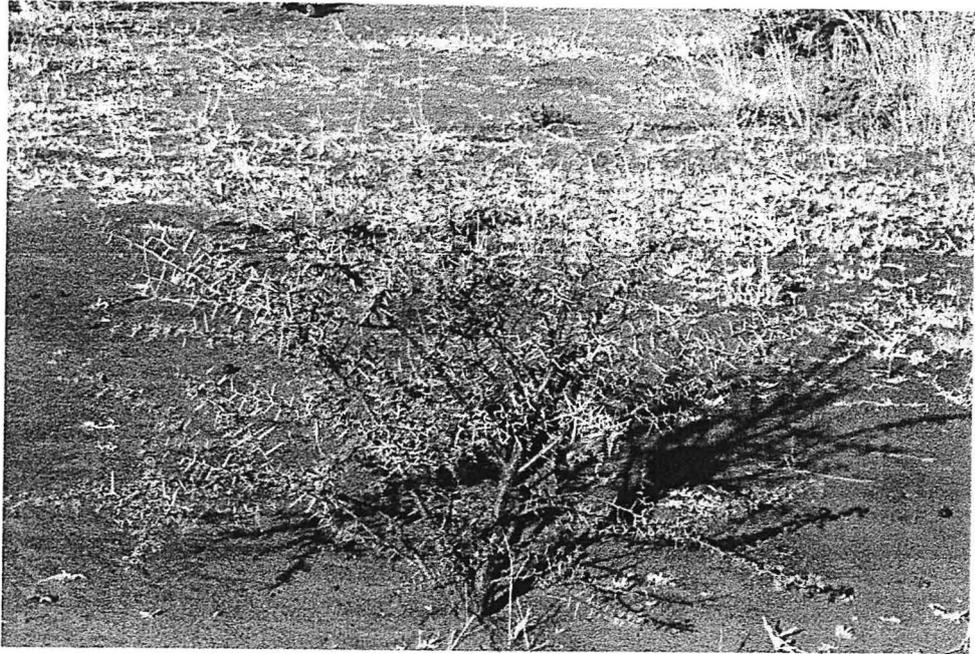
*Dichrostachys cinerea*

VERDEUR 1



*Acacia nilotica*

VERDEUR 2

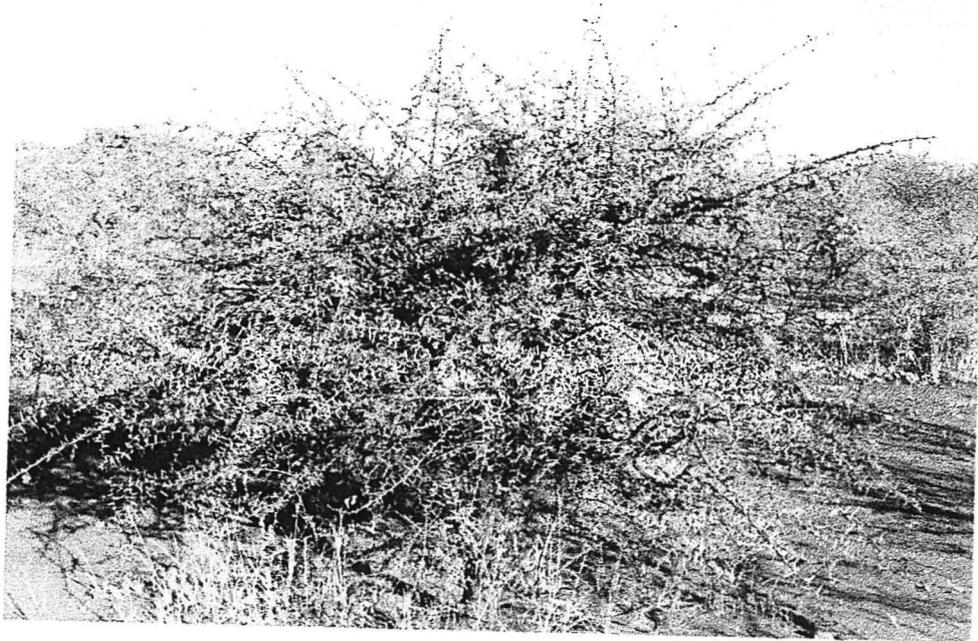


*Acacia nilotica*



*Dichrostachys cinerea*

**VERDEUR 3**



*Acacia nilotica*

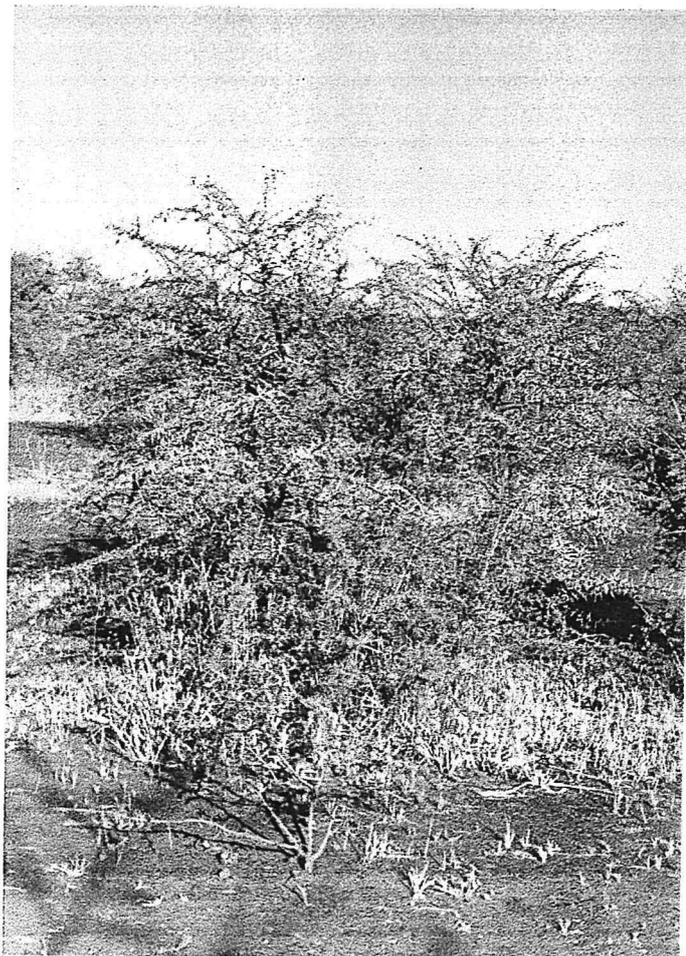


*Albizia amara*

VERDEUR 4

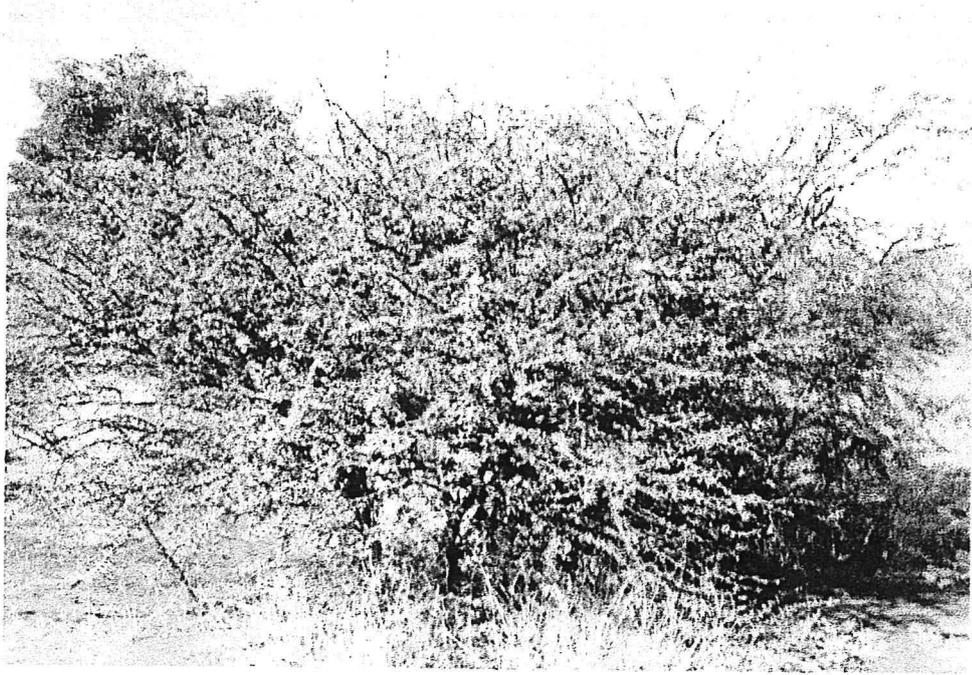


*Dichrostachys cinerea*

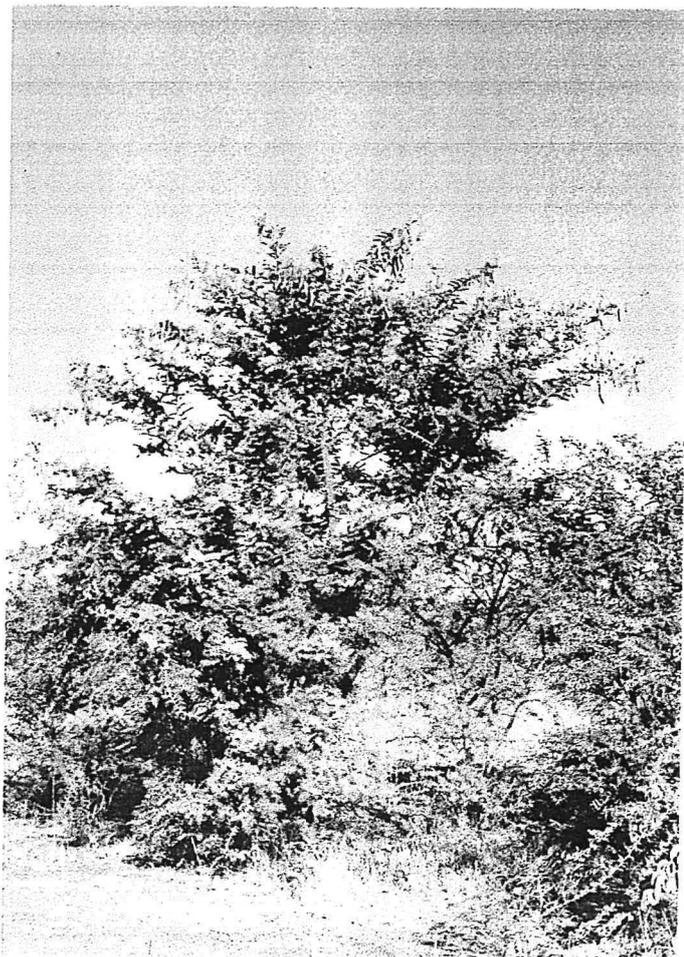


*Acacia nilotica*

VERDEUR 5



*Acacia nilotica*



*Acacia rehmanniana*



**ANNEXE 5 :**

**FICHES PREDICTIVES DE LA BIOMASSE FOLIAIRE  
PAR LA METHODE "VERDEUR"**

A. nilotica

	Verdeur	1						2					
	Hcan-Diam	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
CYLINDRE	0.10	1.49	5.96	13.41	23.83	37.24	53.63	3.39	13.54	30.47	54.16	84.63	121.86
	0.30	4.47	17.88	40.22	71.50	111.72	160.88	10.16	40.62	91.40	162.48	253.88	365.59
	0.50	7.45	29.79	67.03	119.17	186.21	268.14	16.93	67.70	152.33	270.81	423.13	609.31
	0.70	10.43	41.71	93.85	166.84	260.69	375.39	23.70	94.78	213.26	379.13	592.39	853.04
	0.90	13.41	53.63	120.66	214.51	335.17	482.64	30.47	121.86	274.19	487.45	761.64	1096.76
	1.10	16.39	65.54	147.47	262.18	409.65	589.90	37.24	148.94	335.12	595.77	930.90	1340.49
	1.30	19.37	77.46	174.29	309.85	484.13	697.15	44.01	176.02	396.05	704.10	1100.15	1584.21
	1.50	22.34	89.38	201.10	357.51	558.62	804.41	50.78	203.10	456.98	812.42	1269.40	1827.94
CALOTTE SPHERIQUE	0.10	0.75	2.99	6.71	11.93	18.63	26.82	1.72	6.79	15.26	27.10	42.34	60.95
	0.30	2.50	9.21	20.38	36.02	56.13	80.71	5.69	20.92	46.31	81.85	127.55	183.40
	0.50	4.97	16.14	34.76	60.83	94.34	135.31	11.28	36.67	78.99	138.22	214.39	307.48
	0.70	8.62	24.26	50.33	86.83	133.75	191.10	19.59	55.13	114.37	197.30	303.93	434.26
	0.90	13.94	34.05	67.57	114.49	174.82	248.56	31.68	77.38	153.55	260.18	397.27	564.83
	1.10	21.41	45.99	86.96	144.31	218.04	308.17	48.65	104.51	197.60	327.92	495.48	700.28
	1.30	31.50	60.55	108.96	176.74	263.89	370.39	71.58	137.59	247.61	401.63	599.65	841.69
	1.50	44.69	78.21	134.07	212.27	312.82	435.72	101.55	177.72	304.66	482.37	710.87	990.13
CONE	0.10	0.50	1.99	4.47	6.95	12.41	17.88	1.13	4.51	10.16	15.80	28.21	40.62
	0.30	1.49	5.96	13.41	20.85	37.24	53.63	3.39	13.54	30.47	47.39	84.63	121.86
	0.50	2.48	9.93	22.34	34.76	62.07	89.38	5.64	22.57	50.78	78.99	141.04	203.10
	0.70	3.48	13.90	31.28	48.66	86.90	125.13	7.90	31.59	71.09	110.58	197.46	284.35
	0.90	4.47	17.88	40.22	62.56	111.72	160.88	10.16	40.62	91.40	142.17	253.88	365.59
	1.10	5.46	21.85	49.16	76.47	136.55	196.63	12.41	49.65	111.71	173.77	310.30	446.83
	1.30	6.46	25.82	58.10	90.37	161.38	232.38	14.67	58.67	132.02	205.36	366.72	528.07
	1.50	7.45	29.79	67.03	104.27	186.21	268.14	16.93	67.70	152.33	236.96	423.13	609.31

A. nilotica

3						4						5					
1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
5.28	21.12	47.52	84.49	132.01	190.10	7.18	28.70	64.58	114.82	179.40	258.33	9.07	36.29	81.64	145.14	226.78	326.57
15.84	63.37	142.57	253.46	396.04	570.29	21.53	86.11	193.75	344.45	538.20	775.00	27.21	108.86	244.93	435.43	680.35	979.71
26.40	105.61	237.62	422.44	660.06	950.49	35.88	143.52	322.92	574.08	896.99	1291.67	45.36	181.43	408.21	725.71	1133.92	1632.85
36.96	147.85	332.67	591.42	924.09	1330.69	50.23	200.93	452.08	803.71	1255.79	1808.34	63.50	254.00	571.50	1015.99	1587.49	2285.99
47.52	190.10	427.72	760.39	1188.11	1710.88	64.58	258.33	581.25	1033.34	1614.59	2325.00	81.64	326.57	734.78	1306.28	2041.06	2939.12
58.09	232.34	522.77	929.37	1452.14	2091.08	78.94	315.74	710.42	1262.97	1973.38	2841.67	99.79	399.14	898.07	1596.56	2494.63	3592.26
68.65	274.59	617.82	1098.35	1716.16	2471.28	93.29	373.15	839.58	1492.60	2332.18	3358.34	117.93	471.71	1061.35	1886.84	2948.20	4245.40
79.21	316.83	712.87	1267.32	1980.19	2851.47	107.64	430.56	968.75	1722.23	2690.98	3875.01	136.07	544.28	1224.63	2177.13	3401.76	4898.54
2.68	10.60	23.80	42.28	66.04	95.08	3.64	14.40	32.34	57.46	89.75	129.21	4.60	18.20	40.88	72.63	113.45	163.35
8.87	32.63	72.24	127.68	198.97	286.10	12.06	44.35	98.17	173.51	270.39	388.79	15.24	56.06	124.10	219.35	341.81	491.49
17.60	57.21	123.21	215.62	334.43	479.65	23.92	77.74	167.44	293.02	454.48	651.81	30.24	98.27	211.67	370.41	574.52	823.98
30.56	86.00	178.41	307.78	474.12	677.42	41.52	116.87	242.45	418.26	644.30	920.58	52.49	147.74	306.49	528.74	814.49	1163.74
49.43	120.71	239.52	405.86	619.72	881.11	67.17	164.04	325.50	551.54	842.17	1197.38	84.91	207.37	411.48	697.23	1064.62	1513.65
75.90	163.03	308.24	511.54	772.93	1092.40	103.14	221.55	418.88	695.16	1050.37	1484.51	130.39	280.06	529.53	878.77	1327.81	1876.62
111.67	214.63	386.25	626.51	935.42	1312.98	151.75	291.68	524.90	851.40	1271.19	1784.27	191.83	368.72	663.54	1076.29	1606.96	2255.57
158.42	277.23	475.25	752.47	1108.91	1544.55	215.28	376.74	645.83	1022.57	1506.95	2098.96	272.14	476.25	816.42	1292.67	1904.99	2653.38
1.76	7.04	15.84	24.64	44.00	63.37	2.39	9.57	21.53	33.49	59.80	86.11	3.02	12.10	27.21	42.33	75.59	108.86
5.28	21.12	47.52	73.93	132.01	190.10	7.18	28.70	64.58	100.46	179.40	258.33	9.07	36.29	81.64	127.00	226.78	326.57
8.80	35.20	79.21	123.21	220.02	316.83	11.96	47.84	107.64	167.44	299.00	430.56	15.12	60.48	136.07	211.67	377.97	544.28
12.32	49.28	110.89	172.50	308.03	443.56	16.74	66.98	150.69	234.41	418.60	602.78	21.17	84.67	190.50	296.33	529.16	762.00
15.84	63.37	142.57	221.78	396.04	570.29	21.53	86.11	193.75	301.39	538.20	775.00	27.21	108.86	244.93	381.00	680.35	979.71
19.36	77.45	174.26	271.07	484.05	697.03	26.31	105.25	236.81	368.36	657.79	947.22	33.26	133.05	299.36	465.66	831.54	1197.42
22.88	91.53	205.94	320.35	572.05	823.76	31.10	124.38	279.86	435.34	777.39	1119.45	39.31	157.24	353.78	550.33	982.73	1415.13
26.40	105.61	237.62	369.64	660.06	950.49	35.88	143.52	322.92	502.32	896.99	1291.67	45.36	181.43	408.21	635.00	1133.92	1632.85

A. rehmanniana

Verdeur	1						2						
	Hcan-Diam	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
CYLINDRE	0.10	2.06	8.23	18.52	32.92	51.44	74.08	4.74	18.96	42.67	75.86	118.53	170.68
	0.30	6.17	24.69	55.56	98.77	154.33	222.24	14.22	56.89	128.01	227.58	355.59	512.05
	0.50	10.29	41.15	92.60	164.62	257.22	370.39	23.71	94.82	213.35	379.30	592.65	853.42
	0.70	14.40	57.62	129.64	230.47	360.11	518.55	33.19	132.75	298.70	531.01	829.71	1194.78
	0.90	18.52	74.08	166.68	296.32	462.99	666.71	42.67	170.68	384.04	682.73	1066.77	1536.15
	1.10	22.64	90.54	203.72	362.16	565.88	814.87	52.15	208.61	469.38	834.45	1303.83	1877.51
	1.30	26.75	107.00	240.76	428.01	668.77	963.03	61.64	246.54	554.72	986.17	1540.89	2218.88
	1.50	30.87	123.46	277.80	493.86	771.66	1111.18	71.12	284.47	640.06	1137.89	1777.95	2560.25
CALOTTE SPHERIQUE	0.10	1.04	4.13	9.27	16.48	25.74	37.05	2.40	9.51	21.37	37.96	59.30	85.37
	0.30	3.46	12.72	28.15	49.76	77.54	111.49	7.97	29.30	64.86	114.64	178.65	256.88
	0.50	6.86	22.29	48.01	84.02	130.32	186.91	15.80	51.36	110.63	193.60	300.28	430.66
	0.70	11.91	33.51	69.52	119.94	184.76	263.98	27.44	77.22	160.19	276.35	425.70	608.23
	0.90	19.26	47.04	93.34	158.16	241.50	343.36	44.38	108.38	215.06	364.41	556.43	791.12
	1.10	29.58	63.53	120.12	199.34	301.20	425.69	68.15	146.38	276.76	459.30	693.98	980.83
	1.30	43.51	83.64	150.52	244.14	364.52	511.65	100.26	192.71	346.80	562.53	839.89	1178.88
	1.50	61.73	108.03	185.20	293.23	432.13	601.89	142.24	248.91	426.71	675.62	995.65	1386.80
CONE	0.10	0.69	2.74	6.17	9.60	17.15	24.69	1.58	6.32	14.22	22.13	39.51	56.89
	0.30	2.06	8.23	18.52	28.81	51.44	74.08	4.74	18.96	42.67	66.38	118.53	170.68
	0.50	3.43	13.72	30.87	48.01	85.74	123.46	7.90	31.61	71.12	110.63	197.55	284.47
	0.70	4.80	19.21	43.21	67.22	120.04	172.85	11.06	44.25	99.57	154.88	276.57	398.26
	0.90	6.17	24.69	55.56	86.43	154.33	222.24	14.22	56.89	128.01	199.13	355.59	512.05
	1.10	7.55	30.18	67.91	105.63	188.63	271.62	17.38	69.54	156.46	243.38	434.61	625.84
	1.30	8.92	35.67	80.25	124.84	222.92	321.01	20.55	82.18	184.91	287.63	513.63	739.63
	1.50	10.29	41.15	92.60	144.04	257.22	370.39	23.71	94.82	213.35	331.88	592.65	853.42

A. rehmanniana

3						4						5					
1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
7.42	29.70	66.82	118.79	185.62	267.29	10.11	40.43	90.97	161.73	252.70	363.89	12.79	51.17	115.12	204.66	319.79	460.50
22.27	89.10	200.47	356.38	556.85	801.86	30.32	121.30	272.92	485.19	758.11	1091.67	38.37	153.50	345.37	613.99	959.37	1381.49
37.12	148.49	334.11	593.97	928.08	1336.44	50.54	202.16	454.86	808.65	1263.51	1819.46	63.96	255.83	575.62	1023.32	1598.94	2302.48
51.97	207.89	467.75	831.56	1299.31	1871.01	70.76	283.03	636.81	1132.11	1768.92	2547.24	89.54	358.16	805.87	1432.65	2238.52	3223.47
66.82	267.29	601.40	1069.15	1670.55	2405.59	90.97	363.89	818.76	1455.57	2274.32	3275.02	115.12	460.50	1036.12	1841.98	2878.10	4144.46
81.67	326.68	735.04	1306.74	2041.78	2940.16	111.19	444.76	1000.70	1779.03	2779.73	4002.81	140.71	562.83	1266.36	2251.31	3517.68	5065.45
96.52	386.08	868.68	1544.33	2413.01	3474.74	131.41	525.62	1182.65	2102.48	3285.13	4730.59	166.29	665.16	1496.61	2660.64	4157.25	5986.44
111.37	445.48	1002.33	1781.92	2784.24	4009.31	151.62	606.49	1364.59	2425.94	3790.54	5458.37	191.87	767.49	1726.86	3069.97	4796.83	6907.44
3.76	14.90	33.46	59.45	92.86	133.69	5.12	20.28	45.55	80.93	126.42	182.01	6.48	25.67	57.65	102.42	159.98	230.33
12.47	45.88	101.57	179.53	279.76	402.27	16.98	62.47	138.28	244.41	380.87	547.66	21.49	79.05	174.99	309.30	481.99	693.05
24.75	80.43	173.24	303.17	470.23	674.41	33.69	109.50	235.86	412.75	640.18	918.15	42.64	138.58	298.47	522.32	810.13	1161.90
42.96	120.92	250.85	432.76	666.63	952.48	58.49	164.63	341.52	589.17	907.57	1296.73	74.02	208.33	432.18	745.58	1148.51	1640.99
69.49	169.73	336.78	570.66	871.36	1238.88	94.61	231.07	458.50	776.91	1186.29	1686.64	119.73	292.41	580.22	983.16	1501.22	2134.40
106.72	229.22	433.40	719.25	1086.77	1535.96	145.29	312.07	590.04	979.21	1479.56	2091.10	183.86	394.92	746.69	1239.16	1872.34	2646.23
157.01	301.79	543.09	880.91	1315.25	1846.11	213.75	410.86	739.37	1199.29	1790.62	2513.34	270.50	519.93	935.66	1517.67	2265.98	3180.58
222.74	389.79	668.22	1058.01	1559.18	2171.71	303.24	530.68	909.73	1440.40	2122.70	2956.62	383.75	671.56	1151.24	1822.80	2686.23	3741.53
2.47	9.90	22.27	34.65	61.87	89.10	3.37	13.48	30.32	47.17	84.23	121.30	4.26	17.06	38.37	59.69	106.60	153.50
7.42	29.70	66.82	103.95	185.62	267.29	10.11	40.43	90.97	141.51	252.70	363.89	12.79	51.17	115.12	179.08	319.79	460.50
12.37	49.50	111.37	173.24	309.36	445.48	16.85	67.39	151.62	235.86	421.17	606.49	21.32	85.28	191.87	298.47	532.98	767.49
17.32	69.30	155.92	242.54	433.10	623.67	23.59	94.34	212.27	330.20	589.64	849.08	29.85	119.39	268.62	417.86	746.17	1074.49
22.27	89.10	200.47	311.84	556.85	801.86	30.32	121.30	272.92	424.54	758.11	1091.67	38.37	153.50	345.37	537.25	959.37	1381.49
27.22	108.89	245.01	381.13	680.59	980.05	37.06	148.25	333.57	518.88	926.58	1334.27	46.90	187.61	422.12	656.63	1172.56	1688.48
32.17	128.69	289.56	450.43	804.34	1158.25	43.80	175.21	394.22	613.22	1095.04	1576.86	55.43	221.72	498.87	776.02	1385.75	1995.48
37.12	148.49	334.11	519.73	928.08	1336.44	50.54	202.16	454.86	707.57	1263.51	1819.46	63.96	255.83	575.62	895.41	1598.94	2302.48

## D. cinerea

	Verdeur												
	Hcan-Diam	1						2					
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00		1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
CYLINDRE	0.10	0.99	3.97	8.93	15.88	24.81	35.72	1.96	7.85	17.67	31.42	49.09	70.69
	0.30	2.98	11.91	26.79	47.63	74.42	107.16	5.89	23.56	53.01	94.25	147.26	212.06
	0.50	4.96	19.84	44.65	79.38	124.03	178.60	9.82	39.27	88.36	157.08	245.44	353.43
	0.70	6.95	27.78	62.51	111.13	173.64	250.04	13.74	54.98	123.70	219.91	343.61	494.80
	0.90	8.93	35.72	80.37	142.88	223.25	321.48	17.67	70.69	159.04	282.74	441.79	636.17
	1.10	10.91	43.66	98.23	174.63	272.86	392.92	21.60	86.39	194.39	345.58	539.96	777.55
	1.30	12.90	51.60	116.09	206.38	322.47	464.36	25.53	102.10	229.73	408.41	638.14	918.92
	1.50	14.88	59.53	133.95	238.13	372.08	535.80	29.45	117.81	265.07	471.24	736.31	1060.29
CALOTTE SPHERIQUE	0.10	0.50	1.99	4.47	7.94	12.41	17.87	0.99	3.94	8.85	15.72	24.56	35.36
	0.30	1.67	6.13	13.57	23.99	37.39	53.76	3.30	12.13	26.86	47.48	73.98	106.38
	0.50	3.31	10.75	23.15	40.52	62.84	90.13	6.55	21.27	45.82	80.18	124.36	178.35
	0.70	5.74	16.16	33.52	57.83	89.09	127.29	11.36	31.98	66.34	114.45	176.30	251.89
	0.90	9.29	22.68	45.01	76.26	116.45	165.56	18.38	44.89	89.06	150.91	230.44	327.63
	1.10	14.26	30.63	57.92	96.12	145.23	205.26	28.22	60.62	114.62	190.21	287.40	406.20
	1.30	20.98	40.33	72.58	117.72	175.77	246.71	41.52	79.81	143.62	232.96	347.83	488.22
	1.50	29.77	52.09	89.30	141.39	208.37	290.22	58.91	103.08	176.72	279.80	412.34	574.32
CONE	0.10	0.33	1.32	2.98	4.63	8.27	11.91	0.65	2.62	5.89	9.16	16.36	23.56
	0.30	15.47	61.90	139.27	216.65	386.87	557.10	1.96	7.85	17.67	27.49	49.09	70.69
	0.50	25.79	103.17	232.12	361.08	644.79	928.50	3.27	13.09	29.45	45.82	81.81	117.81
	0.70	36.11	144.43	324.97	505.52	902.71	1299.90	4.58	18.33	41.23	64.14	114.54	164.93
	0.90	46.42	185.70	417.82	649.95	1160.62	1671.30	5.89	23.56	53.01	82.47	147.26	212.06
	1.10	56.74	226.97	510.67	794.38	1418.54	2042.70	7.20	28.80	64.80	100.79	179.99	259.18
	1.30	67.06	268.23	603.52	938.82	1676.46	2414.10	8.51	34.03	76.58	119.12	212.71	306.31
	1.50	77.37	309.50	696.37	1083.25	1934.37	2785.50	9.82	39.27	88.36	137.45	245.44	353.43

D. cinerea

3						4						5					
1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
2.93	11.74	26.41	46.96	73.37	105.65	3.91	15.62	35.15	62.50	97.65	140.62	4.88	19.51	43.90	78.04	121.93	175.58
8.80	35.22	79.24	140.87	220.11	316.96	11.72	46.87	105.46	187.49	292.95	421.85	14.63	58.53	131.69	234.11	365.80	526.75
14.67	58.70	132.07	234.78	366.85	528.26	19.53	78.12	175.77	312.48	488.26	703.09	24.39	97.55	219.48	390.19	609.67	877.92
20.54	82.17	184.89	328.70	513.59	739.56	27.34	109.37	246.08	437.48	683.56	984.33	34.14	136.57	307.27	546.26	853.53	1229.09
26.41	105.65	237.72	422.61	660.33	950.87	35.15	140.62	316.39	562.47	878.86	1265.56	43.90	175.58	395.06	702.34	1097.40	1580.26
32.28	129.13	290.54	516.52	807.06	1162.17	42.97	171.87	386.70	687.47	1074.17	1546.80	53.65	214.60	482.86	858.41	1341.27	1931.42
38.15	152.61	343.37	610.43	953.80	1373.48	50.78	203.11	457.01	812.46	1269.47	1828.03	63.41	253.62	570.65	1014.49	1585.13	2282.59
44.02	176.09	396.20	704.35	1100.54	1584.78	58.59	234.36	527.32	937.45	1464.77	2109.27	73.16	292.64	658.44	1170.56	1829.00	2633.76
1.49	5.89	13.23	23.50	36.70	52.85	1.98	7.84	17.60	31.27	48.85	70.34	2.47	9.79	21.98	39.05	61.00	87.82
4.93	18.14	40.15	70.96	110.58	159.01	6.56	24.14	53.43	94.45	147.18	211.63	8.19	30.14	66.72	117.93	183.78	264.25
9.78	31.79	68.48	119.84	185.87	266.58	13.02	42.32	91.14	159.50	247.38	354.80	16.26	52.84	113.80	199.16	308.90	443.02
16.98	47.80	99.16	171.06	263.50	376.49	22.60	63.62	131.97	227.67	350.71	501.09	28.22	79.44	164.79	284.28	437.92	625.70
27.47	67.09	133.12	225.57	344.43	489.70	36.56	89.29	177.18	300.22	458.41	651.76	45.65	111.50	221.24	374.87	572.40	813.83
42.18	90.61	171.31	284.30	429.57	607.13	56.14	120.59	228.01	378.39	571.74	808.06	70.10	150.58	284.71	472.48	713.91	1008.99
62.06	119.29	214.67	348.20	519.89	729.72	82.60	158.77	285.71	463.44	691.94	971.23	103.14	198.25	356.76	578.68	864.00	1212.73
88.04	154.08	264.13	418.21	616.30	858.42	117.18	205.07	351.55	556.61	820.27	1142.52	146.32	256.06	438.96	695.02	1024.24	1426.62
0.98	3.91	8.80	13.70	24.46	35.22	1.30	5.21	11.72	18.23	32.55	46.87	1.63	6.50	14.63	22.76	40.64	58.53
2.93	11.74	26.41	41.09	73.37	105.65	3.91	15.62	35.15	54.68	97.65	140.62	4.88	19.51	43.90	68.28	121.93	175.58
4.89	19.57	44.02	68.48	122.28	176.09	6.51	26.04	58.59	91.14	162.75	234.36	8.13	32.52	73.16	113.80	203.22	292.64
6.85	27.39	61.63	95.87	171.20	246.52	9.11	36.46	82.03	127.60	227.85	328.11	11.38	45.52	102.42	159.33	284.51	409.70
8.80	35.22	79.24	123.26	220.11	316.96	11.72	46.87	105.46	164.05	292.95	421.85	14.63	58.53	131.69	204.85	365.80	526.75
10.76	43.04	96.85	150.65	269.02	387.39	14.32	57.29	128.90	200.51	358.06	515.60	17.88	71.53	160.95	250.37	447.09	643.81
12.72	50.87	114.46	178.04	317.93	457.83	16.93	67.70	152.34	236.97	423.16	609.34	21.14	84.54	190.22	295.89	528.38	760.86
14.67	58.70	132.07	205.43	366.85	528.26	19.53	78.12	175.77	273.42	488.26	703.09	24.39	97.55	219.48	341.41	609.67	877.92

A. nilotica

	Verdeur		1						2					
	Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
		Diam. base houp.												
ZONE SHERIQUE	0.10	1.00	1.50	3.73	7.46	12.67	19.38	27.57	3.41	8.49	16.95	28.80	44.03	62.65
	0.10	2.00	3.73	5.97	9.69	14.91	21.61	29.80	8.49	13.56	22.03	33.87	49.11	67.72
	0.10	3.00	7.46	9.69	13.42	18.63	25.33	33.53	16.95	22.03	30.49	42.34	57.57	76.19
	0.10	4.00	12.67	14.91	18.63	23.84	30.55	38.74	28.80	33.87	42.34	54.18	69.42	88.03
	0.10	5.00	19.38	21.61	25.33	30.55	37.25	45.44	44.03	49.11	57.57	69.42	84.65	103.27
	0.10	6.00	27.57	29.80	33.53	38.74	45.44	53.64	62.65	67.72	76.19	88.03	103.27	121.89
	0.30	1.00	4.74	11.44	22.61	38.25	58.36	82.94	10.76	26.00	51.39	86.93	132.63	188.48
	0.30	2.00	11.44	18.14	29.32	44.96	65.07	89.65	26.00	41.23	66.62	102.16	147.86	203.71
	0.30	3.00	22.61	29.32	40.49	56.13	76.24	100.82	51.39	66.62	92.01	127.55	173.25	229.10
	0.30	4.00	38.25	44.96	56.13	71.77	91.88	116.46	86.93	102.16	127.55	163.09	208.79	264.65
	0.30	5.00	58.36	65.07	76.24	91.88	111.99	136.57	132.63	147.86	173.25	208.79	254.49	310.34
	0.30	6.00	82.94	89.65	100.82	116.46	136.57	161.15	188.48	203.71	229.10	264.65	310.34	366.20
	0.50	1.00	8.69	19.86	38.48	64.55	98.07	139.03	19.75	45.13	87.45	146.69	222.85	315.94
	0.50	2.00	19.86	31.03	49.65	75.72	109.24	150.21	45.13	70.52	112.84	172.07	248.24	341.33
	0.50	3.00	38.48	49.65	68.28	94.34	127.86	168.83	87.45	112.84	155.15	214.39	290.55	383.64
	0.50	4.00	64.55	75.72	94.34	120.41	153.93	194.89	146.69	172.07	214.39	273.63	349.79	442.88
	0.50	5.00	98.07	109.24	127.86	153.93	187.45	228.41	222.85	248.24	290.55	349.79	425.96	519.04
	0.50	6.00	139.03	150.21	168.83	194.89	228.41	269.38	315.94	341.33	383.64	442.88	519.04	612.13
	0.70	1.00	13.83	29.48	55.54	92.04	138.96	196.31	31.44	66.98	126.22	209.15	315.78	446.11
	0.70	2.00	29.48	45.12	71.19	107.68	154.60	211.96	66.98	102.52	161.76	244.70	351.33	481.65
	0.70	3.00	55.54	71.19	97.25	133.75	180.67	238.02	126.22	161.76	221.00	303.93	410.56	540.89
	0.70	4.00	92.04	107.68	133.75	170.25	217.17	274.52	209.15	244.70	303.93	386.87	493.50	623.82
	0.70	5.00	138.96	154.60	180.67	217.17	264.09	321.44	315.78	351.33	410.56	493.50	600.13	730.45
	0.70	6.00	196.31	211.96	238.02	274.52	321.44	378.80	446.11	481.65	540.89	623.82	730.45	860.78

A. nilotica

	Verdeur		1						2					
	Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
		Diam. base houp.												
ZONE SHERIQUE	0.90	1.00	20.65	40.76	74.27	121.20	181.53	255.27	46.92	92.62	168.78	275.41	412.51	580.07
	0.90	2.00	40.76	60.87	94.38	141.31	201.64	275.38	92.62	138.31	214.48	321.11	458.20	625.76
	0.90	3.00	74.27	94.38	127.90	174.82	235.15	308.89	168.78	214.48	290.64	397.27	534.37	701.93
	0.90	4.00	121.20	141.31	174.82	221.75	282.08	355.82	275.41	321.11	397.27	503.90	641.00	808.56
	0.90	5.00	181.53	201.64	235.15	282.08	342.41	416.15	412.51	458.20	534.37	641.00	778.09	945.65
	0.90	6.00	255.27	275.38	308.89	355.82	416.15	489.88	580.07	625.76	701.93	808.56	945.65	1113.22
	1.10	1.00	29.60	54.18	95.15	152.50	226.24	316.36	67.27	123.13	216.22	346.54	514.10	718.90
	1.10	2.00	54.18	78.76	119.73	177.08	250.82	340.94	123.13	178.98	272.07	402.40	569.96	774.75
	1.10	3.00	95.15	119.73	160.69	218.04	291.78	381.90	216.22	272.07	365.16	495.48	663.05	867.84
	1.10	4.00	152.50	177.08	218.04	275.40	349.13	439.26	346.54	402.40	495.48	625.81	793.37	998.17
	1.10	5.00	226.24	250.82	291.78	349.13	422.87	512.99	514.10	569.96	663.05	793.37	960.93	1165.73
	1.10	6.00	316.36	340.94	381.90	439.26	512.99	603.12	718.90	774.75	867.84	998.17	1165.73	1370.53
	1.30	1.00	41.18	70.23	118.65	186.42	273.57	380.08	93.59	159.59	269.61	423.63	621.66	863.69
	1.30	2.00	70.23	99.28	147.69	215.47	302.62	409.13	159.59	225.60	335.62	489.64	687.67	929.70
	1.30	3.00	118.65	147.69	196.11	263.89	351.03	457.54	269.61	335.62	445.63	599.65	797.68	1039.71
	1.30	4.00	186.42	215.47	263.89	331.66	418.81	525.32	423.63	489.64	599.65	753.68	951.70	1193.74
	1.30	5.00	273.57	302.62	351.03	418.81	505.95	612.46	621.66	687.67	797.68	951.70	1149.73	1391.76
	1.30	6.00	380.08	409.13	457.54	525.32	612.46	718.97	863.69	929.70	1039.71	1193.74	1391.76	1633.79
	1.50	1.00	55.86	89.38	145.24	223.45	324.00	446.89	126.94	203.10	330.04	507.76	736.25	1015.52
	1.50	2.00	89.38	122.90	178.76	256.96	357.51	480.41	203.10	279.27	406.21	583.93	812.42	1091.69
	1.50	3.00	145.24	178.76	234.62	312.82	413.38	536.27	330.04	406.21	533.15	710.87	939.36	1218.63
	1.50	4.00	223.45	256.96	312.82	391.03	491.58	614.48	507.76	583.93	710.87	888.58	1117.07	1396.34
	1.50	5.00	324.00	357.51	413.38	491.58	592.13	715.03	736.25	812.42	939.36	1117.07	1345.57	1624.84
	1.50	6.00	446.89	480.41	536.27	614.48	715.03	837.92	1015.52	1091.69	1218.63	1396.34	1624.84	1904.10

A. nilotica

Verdeur		3							4						5					
Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	
ZONE SHERIQUE	Diam. base houp.																			
	0.10	1.00	5.32	13.24	26.44	44.92	68.68	97.72	7.22	17.99	35.93	61.04	93.34	132.80	9.13	22.74	45.42	77.17	117.99	167.88
	0.10	2.00	13.24	21.16	34.36	52.84	76.60	105.65	17.99	28.75	46.69	71.81	104.10	143.57	22.74	36.35	59.02	90.77	131.60	181.49
	0.10	3.00	26.44	34.36	47.56	66.04	89.80	118.85	35.93	46.69	64.63	89.75	122.04	161.51	45.42	59.02	81.70	113.45	154.27	204.17
	0.10	4.00	44.92	52.84	66.04	84.52	108.29	137.33	61.04	71.81	89.75	114.86	147.15	186.62	77.17	90.77	113.45	145.20	186.02	235.92
	0.10	5.00	68.68	76.60	89.80	108.29	132.05	161.09	93.34	104.10	122.04	147.15	179.45	218.91	117.99	131.60	154.27	186.02	226.84	276.74
	0.10	6.00	97.72	105.65	118.85	137.33	161.09	190.13	132.80	143.57	161.51	186.62	218.91	258.38	167.88	181.49	204.17	235.92	276.74	326.63
	0.30	1.00	16.79	40.55	80.16	135.60	206.89	294.02	22.82	55.11	108.93	184.28	281.15	399.56	28.85	69.67	137.70	232.95	355.42	505.09
	0.30	2.00	40.55	64.32	103.92	159.37	230.65	317.78	55.11	87.40	141.22	216.57	313.44	431.85	69.67	110.49	178.52	273.77	396.24	545.92
	0.30	3.00	80.16	103.92	143.52	198.97	270.26	357.38	108.93	141.22	195.04	270.39	367.26	485.67	137.70	178.52	246.56	341.81	464.27	613.95
	0.30	4.00	135.60	159.37	198.97	254.41	325.70	412.83	184.28	216.57	270.39	345.74	442.61	561.01	232.95	273.77	341.81	437.06	559.52	709.20
	0.30	5.00	206.89	230.65	270.26	325.70	396.99	484.12	281.15	313.44	367.26	442.61	539.49	657.89	355.42	396.24	464.27	559.52	681.99	831.66
	0.30	6.00	294.02	317.78	357.38	412.83	484.12	571.25	399.56	431.85	485.67	561.01	657.89	776.29	505.09	545.92	613.95	709.20	831.66	981.34
	0.50	1.00	30.80	70.41	136.41	228.82	347.63	492.85	41.86	95.68	185.38	310.96	472.42	669.75	52.92	120.95	234.34	393.09	597.20	846.66
	0.50	2.00	70.41	110.01	176.02	268.43	387.24	532.45	95.68	149.50	239.20	364.78	526.24	723.57	120.95	188.99	302.38	461.13	665.23	914.70
	0.50	3.00	136.41	176.02	242.02	334.43	453.24	598.46	185.38	239.20	328.90	454.48	615.93	813.27	234.34	302.38	415.77	574.52	778.63	1028.09
	0.50	4.00	228.82	268.43	334.43	426.84	545.65	690.87	310.96	364.78	454.48	580.05	741.51	938.85	393.09	461.13	574.52	733.27	937.37	1186.84
	0.50	5.00	347.63	387.24	453.24	545.65	664.46	809.68	472.42	526.24	615.93	741.51	902.97	1100.31	597.20	665.23	778.63	937.37	1141.48	1390.94
	0.50	6.00	492.85	532.45	598.46	690.87	809.68	954.89	669.75	723.57	813.27	938.85	1100.31	1297.65	846.66	914.70	1028.09	1186.84	1390.94	1640.41
	0.70	1.00	49.04	104.48	196.89	326.26	492.60	695.90	66.64	141.99	267.57	443.38	669.42	945.69	84.24	179.49	338.24	560.49	846.24	1195.49
	0.70	2.00	104.48	159.93	252.34	381.71	548.05	751.35	141.99	217.34	342.91	518.72	744.77	1021.04	179.49	274.74	433.49	655.74	941.49	1290.73
	0.70	3.00	196.89	252.34	344.75	474.12	640.45	843.75	267.57	342.91	468.49	644.30	870.35	1146.62	338.24	433.49	592.24	814.49	1100.24	1449.48
	0.70	4.00	326.26	381.71	474.12	603.49	769.83	973.13	443.38	518.72	644.30	820.11	1046.16	1322.43	560.49	655.74	814.49	1036.74	1322.48	1671.73
	0.70	5.00	492.60	548.05	640.45	769.83	936.16	1139.46	669.42	744.77	870.35	1046.16	1272.20	1548.47	846.24	941.49	1100.24	1322.48	1608.23	1957.48
0.70	6.00	695.90	751.35	843.75	973.13	1139.46	1342.76	945.69	1021.04	1146.62	1322.43	1548.47	1824.75	1195.49	1290.73	1449.48	1671.73	1957.48	2306.73	

A. nilotica

	Verdeur		3						4						5					
	Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
ZONE SHERIQUE		Diam. base houp.																		
	0.90	1.00	73.19	144.47	263.29	429.62	643.48	904.87	99.46	196.33	357.79	583.83	874.46	1229.67	125.73	248.19	452.30	738.05	1105.44	1554.47
	0.90	2.00	144.47	215.76	334.57	500.91	714.77	976.15	196.33	293.21	454.67	680.71	971.33	1326.54	248.19	370.66	574.76	860.51	1227.90	1676.93
	0.90	3.00	263.29	334.57	453.38	619.72	833.58	1094.97	357.79	454.67	616.13	842.17	1132.79	1488.00	452.30	574.76	778.87	1064.62	1432.01	1881.04
	0.90	4.00	429.62	500.91	619.72	786.06	999.92	1261.30	583.83	680.71	842.17	1068.21	1358.84	1714.04	738.05	860.51	1064.62	1350.36	1717.75	2166.79
	0.90	5.00	643.48	714.77	833.58	999.92	1213.78	1475.16	874.46	971.33	1132.79	1358.84	1649.46	2004.67	1105.44	1227.90	1432.01	1717.75	2085.15	2534.18
	0.90	6.00	904.87	976.15	1094.97	1261.30	1475.16	1736.55	1229.67	1326.54	1488.00	1714.04	2004.67	2359.88	1554.47	1676.93	1881.04	2166.79	2534.18	2983.21
	1.10	1.00	104.94	192.07	337.28	540.58	801.97	1121.44	142.61	261.01	458.35	734.62	1089.83	1523.98	180.28	329.96	579.42	928.67	1377.70	1926.52
	1.10	2.00	192.07	279.20	424.41	627.71	889.10	1208.57	261.01	379.42	576.75	853.03	1208.24	1642.38	329.96	479.63	729.10	1078.34	1527.38	2076.19
	1.10	3.00	337.28	424.41	569.63	772.93	1034.31	1353.78	458.35	576.75	774.09	1050.37	1405.57	1839.72	579.42	729.10	978.56	1327.81	1776.84	2325.66
	1.10	4.00	540.58	627.71	772.93	976.22	1237.61	1557.08	734.62	853.03	1050.37	1326.64	1681.85	2115.99	928.67	1078.34	1327.81	1677.05	2126.09	2674.91
	1.10	5.00	801.97	889.10	1034.31	1237.61	1498.99	1818.47	1089.83	1208.24	1405.57	1681.85	2037.06	2471.20	1377.70	1527.38	1776.84	2126.09	2575.12	3123.94
	1.10	6.00	1121.44	1208.57	1353.78	1557.08	1818.47	2137.94	1523.98	1642.38	1839.72	2115.99	2471.20	2905.35	1926.52	2076.19	2325.66	2674.91	3123.94	3672.76
	1.30	1.00	145.99	248.96	420.57	660.84	969.75	1347.30	198.39	338.32	571.54	898.04	1317.84	1830.92	250.79	427.68	722.50	1135.25	1665.93	2314.53
	1.30	2.00	248.96	351.93	523.54	763.81	1072.72	1450.27	338.32	478.25	711.47	1037.98	1457.77	1970.85	427.68	604.58	899.40	1312.14	1842.82	2491.42
	1.30	3.00	420.57	523.54	695.16	935.42	1244.33	1621.89	571.54	711.47	944.69	1271.19	1690.99	2204.07	722.50	899.40	1194.22	1606.96	2137.64	2786.24
	1.30	4.00	660.84	763.81	935.42	1175.69	1484.60	1862.15	898.04	1037.98	1271.19	1597.70	2017.49	2530.57	1135.25	1312.14	1606.96	2019.71	2550.39	3198.99
	1.30	5.00	969.75	1072.72	1244.33	1484.60	1793.51	2171.06	1317.84	1457.77	1690.99	2017.49	2437.28	2950.36	1665.93	1842.82	2137.64	2550.39	3081.06	3729.66
	1.30	6.00	1347.30	1450.27	1621.89	1862.15	2171.06	2548.62	1830.92	1970.85	2204.07	2530.57	2950.36	3463.44	2314.53	2491.42	2786.24	3198.99	3729.66	4378.27
	1.50	1.00	198.02	316.83	514.85	792.08	1148.51	1584.15	269.10	430.56	699.65	1076.39	1560.77	2152.78	340.18	544.28	884.46	1360.71	1973.02	2721.41
	1.50	2.00	316.83	435.64	633.66	910.89	1267.32	1702.96	430.56	592.01	861.11	1237.85	1722.23	2314.24	544.28	748.39	1088.56	1564.81	2177.13	2925.52
	1.50	3.00	514.85	633.66	831.68	1108.91	1465.34	1900.98	699.65	861.11	1130.21	1506.95	1991.32	2583.34	884.46	1088.56	1428.74	1904.99	2517.31	3265.69
	1.50	4.00	792.08	910.89	1108.91	1386.13	1742.57	2178.21	1076.39	1237.85	1506.95	1883.68	2368.06	2960.07	1360.71	1564.81	1904.99	2381.23	2993.55	3741.94
	1.50	5.00	1148.51	1267.32	1465.34	1742.57	2099.00	2534.64	1560.77	1722.23	1991.32	2368.06	2852.44	3444.45	1973.02	2177.13	2517.31	2993.55	3605.87	4354.26
1.50	6.00	1584.15	1702.96	1900.98	2178.21	2534.64	2970.28	2152.78	2314.24	2583.34	2960.07	3444.45	4036.47	2721.41	2925.52	3265.69	3741.94	4354.26	5102.65	

A. rehmanniana

	Verdeur		1						2					
	Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
		Diam. base houp.												
ZONE SPHERIQUE	0.10	1.00	2.07	5.16	10.30	17.50	26.76	38.08	4.77	11.88	23.74	40.33	61.67	87.74
	0.10	2.00	5.16	8.24	13.39	20.59	29.85	41.17	11.88	19.00	30.85	47.44	68.78	94.86
	0.10	3.00	10.30	13.39	18.53	25.74	35.00	46.31	23.74	30.85	42.70	59.30	80.63	106.71
	0.10	4.00	17.50	20.59	25.74	32.94	42.20	53.52	40.33	47.44	59.30	75.89	97.23	123.30
	0.10	5.00	26.76	29.85	35.00	42.20	51.46	62.78	61.67	68.78	80.63	97.23	118.56	144.64
	0.10	6.00	38.08	41.17	46.31	53.52	62.78	74.09	87.74	94.86	106.71	123.30	144.64	170.71
	0.30	1.00	6.54	15.80	31.24	52.84	80.62	114.58	15.08	36.41	71.97	121.75	185.76	263.99
	0.30	2.00	15.80	25.06	40.50	62.10	89.88	123.84	36.41	57.75	93.31	143.09	207.10	285.33
	0.30	3.00	31.24	40.50	55.93	77.54	105.32	139.27	71.97	93.31	128.87	178.65	242.65	320.88
	0.30	4.00	52.84	62.10	77.54	99.14	126.92	160.87	121.75	143.09	178.65	228.43	292.44	370.67
	0.30	5.00	80.62	89.88	105.32	126.92	154.70	188.65	185.76	207.10	242.65	292.44	356.44	434.67
	0.30	6.00	114.58	123.84	139.27	160.87	188.65	222.61	263.99	285.33	320.88	370.67	434.67	512.90
	0.50	1.00	12.00	27.44	53.16	89.17	135.47	192.06	27.66	63.22	122.48	205.45	312.13	442.51
	0.50	2.00	27.44	42.87	68.59	104.60	150.90	207.49	63.22	98.77	158.04	241.01	347.69	478.07
	0.50	3.00	53.16	68.59	94.31	130.32	176.62	233.21	122.48	158.04	217.30	300.28	406.95	537.34
	0.50	4.00	89.17	104.60	130.32	166.33	212.63	269.22	205.45	241.01	300.28	383.25	489.92	620.31
	0.50	5.00	135.47	150.90	176.62	212.63	258.93	315.52	312.13	347.69	406.95	489.92	596.60	726.98
	0.50	6.00	192.06	207.49	233.21	269.22	315.52	372.11	442.51	478.07	537.34	620.31	726.98	857.37
	0.70	1.00	19.11	40.72	76.73	127.14	191.96	271.18	44.03	93.81	176.78	292.94	442.29	624.83
	0.70	2.00	40.72	62.32	98.33	148.75	213.57	292.79	93.81	143.60	226.57	342.73	492.07	674.61
	0.70	3.00	76.73	98.33	134.34	184.76	249.58	328.80	176.78	226.57	309.54	425.70	575.04	757.58
	0.70	4.00	127.14	148.75	184.76	235.17	299.99	379.22	292.94	342.73	425.70	541.86	691.20	873.74
	0.70	5.00	191.96	213.57	249.58	299.99	364.81	444.03	442.29	492.07	575.04	691.20	840.55	1023.09
	0.70	6.00	271.18	292.79	328.80	379.22	444.03	523.26	624.83	674.61	757.58	873.74	1023.09	1205.62

A. rehmanniana

	Verdeur		1						2					
	Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
		Diam. base houp.												
ZONE SPHERIQUE	0.90	1.00	28.52	56.30	102.60	167.42	250.76	352.62	65.71	129.72	236.40	385.74	577.76	812.45
	0.90	2.00	56.30	84.08	130.38	195.20	278.54	380.40	129.72	193.73	300.40	449.75	641.77	876.46
	0.90	3.00	102.60	130.38	176.68	241.50	324.84	426.69	236.40	300.40	407.08	556.43	748.45	983.13
	0.90	4.00	167.42	195.20	241.50	306.32	389.66	491.51	385.74	449.75	556.43	705.77	897.79	1132.48
	0.90	5.00	250.76	278.54	324.84	389.66	472.99	574.85	577.76	641.77	748.45	897.79	1089.81	1324.50
	0.90	6.00	352.62	380.40	426.69	491.51	574.85	676.71	812.45	876.46	983.13	1132.48	1324.50	1559.19
	1.10	1.00	40.89	74.85	131.44	210.66	312.52	437.01	94.22	172.45	302.84	485.37	720.06	1006.90
	1.10	2.00	74.85	108.80	165.39	244.61	346.47	470.96	172.45	250.68	381.07	563.60	798.29	1085.13
	1.10	3.00	131.44	165.39	221.98	301.20	403.06	527.55	302.84	381.07	511.45	693.98	928.67	1215.52
	1.10	4.00	210.66	244.61	301.20	380.42	482.28	606.78	485.37	563.60	693.98	876.52	1111.21	1398.05
	1.10	5.00	312.52	346.47	403.06	482.28	584.14	708.63	720.06	798.29	928.67	1111.21	1345.90	1632.74
	1.10	6.00	437.01	470.96	527.55	606.78	708.63	833.13	1006.90	1085.13	1215.52	1398.05	1632.74	1919.58
	1.30	1.00	56.89	97.02	163.89	257.52	377.90	525.03	131.08	223.53	377.62	593.35	870.71	1209.70
	1.30	2.00	97.02	137.14	204.02	297.65	418.02	565.15	223.53	315.99	470.07	685.80	963.16	1302.15
	1.30	3.00	163.89	204.02	270.90	364.52	484.90	632.03	377.62	470.07	624.16	839.89	1117.25	1456.24
	1.30	4.00	257.52	297.65	364.52	458.15	578.53	725.66	593.35	685.80	839.89	1055.61	1332.97	1671.97
	1.30	5.00	377.90	418.02	484.90	578.53	698.91	846.04	870.71	963.16	1117.25	1332.97	1610.33	1949.33
	1.30	6.00	525.03	565.15	632.03	725.66	846.04	993.17	1209.70	1302.15	1456.24	1671.97	1949.33	2288.32
	1.50	1.00	77.17	123.46	200.63	308.66	447.56	617.32	177.79	284.47	462.27	711.18	1031.21	1422.36
	1.50	2.00	123.46	169.76	246.93	354.96	493.86	663.62	284.47	391.15	568.94	817.86	1137.89	1529.04
	1.50	3.00	200.63	246.93	324.10	432.13	571.03	740.79	462.27	568.94	746.74	995.65	1315.68	1706.83
	1.50	4.00	308.66	354.96	432.13	540.16	679.06	848.82	711.18	817.86	995.65	1244.56	1564.60	1955.74
	1.50	5.00	447.56	493.86	571.03	679.06	817.95	987.72	1031.21	1137.89	1315.68	1564.60	1884.63	2275.78
	1.50	6.00	617.32	663.62	740.79	848.82	987.72	1157.48	1422.36	1529.04	1706.83	1955.74	2275.78	2666.92

A. rehmanniana

	Verdeur		3						4						5					
	Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
		Diam. base houp.																		
ZONE SPHERIQUE	0.10	1.00	7.47	18.61	37.17	63.16	96.57	137.41	10.18	25.34	50.61	85.99	131.47	187.07	12.88	32.06	64.04	108.81	166.38	236.73
	0.10	2.00	18.61	29.75	48.31	74.30	107.71	148.54	25.34	40.50	65.77	101.15	146.63	202.23	32.06	51.25	83.23	128.00	185.56	255.92
	0.10	3.00	37.17	48.31	66.87	92.86	126.27	167.10	50.61	65.77	91.04	126.42	171.91	227.50	64.04	83.23	115.21	159.98	217.54	287.90
	0.10	4.00	63.16	74.30	92.86	118.84	152.25	193.09	85.99	101.15	126.42	161.80	207.28	262.88	108.81	128.00	159.98	204.75	262.31	332.67
	0.10	5.00	96.57	107.71	126.27	152.25	185.67	226.50	131.47	146.63	171.91	207.28	252.77	308.36	166.38	185.56	217.54	262.31	319.87	390.23
	0.10	6.00	137.41	148.54	167.10	193.09	226.50	267.34	187.07	202.23	227.50	262.88	308.36	363.96	236.73	255.92	287.90	332.67	390.23	460.58
	0.30	1.00	23.61	57.02	112.71	190.66	290.90	413.40	32.14	77.63	153.44	259.58	396.04	562.82	40.68	98.24	194.18	328.49	501.17	712.23
	0.30	2.00	57.02	90.43	146.12	224.08	324.31	446.82	77.63	123.12	198.93	305.06	441.52	608.31	98.24	155.80	251.74	386.05	558.73	769.80
	0.30	3.00	112.71	146.12	201.80	279.76	379.99	502.50	153.44	198.93	274.74	380.87	517.33	684.12	194.18	251.74	347.67	481.99	654.67	865.73
	0.30	4.00	190.66	224.08	279.76	357.72	457.95	580.46	259.58	305.06	380.87	487.01	623.47	790.25	328.49	386.05	481.99	616.30	788.98	1000.04
	0.30	5.00	290.90	324.31	379.99	457.95	558.19	680.69	396.04	441.52	517.33	623.47	759.93	926.71	501.17	558.73	654.67	788.98	961.67	1172.73
	0.30	6.00	413.40	446.82	502.50	580.46	680.69	803.20	562.82	608.31	684.12	790.25	926.71	1093.49	712.23	769.80	865.73	1000.04	1172.73	1383.79
	0.50	1.00	43.31	99.00	191.80	321.73	488.79	692.97	58.96	134.77	261.13	438.02	665.45	943.42	74.62	170.55	330.45	554.30	842.11	1193.88
	0.50	2.00	99.00	154.68	247.49	377.42	544.47	748.65	134.77	210.59	336.94	513.83	741.26	1019.23	170.55	266.49	426.38	650.24	938.05	1289.81
	0.50	3.00	191.80	247.49	340.30	470.23	637.28	841.46	261.13	336.94	463.29	640.18	867.61	1145.58	330.45	426.38	586.28	810.13	1097.94	1449.71
	0.50	4.00	321.73	377.42	470.23	600.16	767.21	971.39	438.02	513.83	640.18	817.07	1044.50	1322.48	554.30	650.24	810.13	1033.98	1321.79	1673.56
	0.50	5.00	488.79	544.47	637.28	767.21	934.27	1138.45	665.45	741.26	867.61	1044.50	1271.94	1549.91	842.11	938.05	1097.94	1321.79	1609.60	1961.37
	0.50	6.00	692.97	748.65	841.46	971.39	1138.45	1342.62	943.42	1019.23	1145.58	1322.48	1549.91	1827.88	1193.88	1289.81	1449.71	1673.56	1961.37	2313.14
	0.70	1.00	68.95	146.91	276.84	458.74	692.62	978.47	93.87	200.01	376.90	624.55	942.95	1332.11	118.79	253.10	476.95	790.35	1193.28	1685.76
	0.70	2.00	146.91	224.87	354.80	536.70	770.58	1056.43	200.01	306.14	483.03	730.68	1049.09	1438.25	253.10	387.41	611.27	924.66	1327.59	1820.07
	0.70	3.00	276.84	354.80	484.73	666.63	900.51	1186.36	376.90	483.03	659.92	907.57	1225.98	1615.14	476.95	611.27	835.12	1148.51	1551.44	2043.92
	0.70	4.00	458.74	536.70	666.63	848.54	1082.41	1368.26	624.55	730.68	907.57	1155.22	1473.63	1862.79	790.35	924.66	1148.51	1461.90	1864.84	2357.31
	0.70	5.00	692.62	770.58	900.51	1082.41	1316.29	1602.14	942.95	1049.09	1225.98	1473.63	1792.03	2181.19	1193.28	1327.59	1551.44	1864.84	2267.77	2760.25
	0.70	6.00	978.47	1056.43	1186.36	1368.26	1602.14	1887.99	1332.11	1438.25	1615.14	1862.79	2181.19	2570.35	1685.76	1820.07	2043.92	2357.31	2760.25	3252.72

A. rehmanniana

	Verdeur		3						4						5					
	Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
		Diam. base houp.																		
ZONE SPHERIQUE	0.90	1.00	102.91	203.14	370.19	604.07	904.77	1272.29	140.10	276.56	503.99	822.39	1231.77	1732.12	177.29	349.98	637.79	1040.72	1558.78	2191.96
	0.90	2.00	203.14	303.37	470.43	704.30	1005.00	1372.52	276.56	413.02	640.45	958.85	1368.23	1868.58	349.98	522.66	810.47	1213.41	1731.46	2364.65
	0.90	3.00	370.19	470.43	637.48	871.36	1172.05	1539.58	503.99	640.45	867.88	1186.29	1595.66	2096.02	637.79	810.47	1098.28	1501.22	2019.27	2652.46
	0.90	4.00	604.07	704.30	871.36	1105.23	1405.93	1773.45	822.39	958.85	1186.29	1504.69	1914.07	2414.42	1040.72	1213.41	1501.22	1904.15	2422.21	3055.39
	0.90	5.00	904.77	1005.00	1172.05	1405.93	1706.63	2074.15	1231.77	1368.23	1595.66	1914.07	2323.45	2823.80	1558.78	1731.46	2019.27	2422.21	2940.27	3573.45
	0.90	6.00	1272.29	1372.52	1539.58	1773.45	2074.15	2441.67	1732.12	1868.58	2096.02	2414.42	2823.80	3324.15	2191.96	2364.65	2652.46	3055.39	3573.45	4206.63
	1.10	1.00	147.55	270.06	474.24	760.09	1127.61	1576.80	200.88	367.67	645.64	1034.80	1535.15	2146.69	254.21	465.27	817.04	1309.51	1942.70	2716.58
	1.10	2.00	270.06	392.57	596.74	882.59	1250.11	1699.30	367.67	534.45	812.42	1201.58	1701.93	2313.47	465.27	676.33	1028.10	1520.57	2153.76	2927.64
	1.10	3.00	474.24	596.74	800.92	1086.77	1454.29	1903.48	645.64	812.42	1090.39	1479.56	1979.91	2591.45	817.04	1028.10	1379.87	1872.34	2505.52	3279.41
	1.10	4.00	760.09	882.59	1086.77	1372.62	1740.14	2189.33	1034.80	1201.58	1479.56	1868.72	2369.07	2980.61	1309.51	1520.57	1872.34	2364.82	2998.00	3771.89
	1.10	5.00	1127.61	1250.11	1454.29	1740.14	2107.66	2556.85	1535.15	1701.93	1979.91	2369.07	2869.42	3480.96	1942.70	2153.76	2505.52	2998.00	3631.18	4405.07
	1.10	6.00	1576.80	1699.30	1903.48	2189.33	2556.85	3006.04	2146.69	2313.47	2591.45	2980.61	3480.96	4092.50	2716.58	2927.64	3279.41	3771.89	4405.07	5178.96
	1.30	1.00	205.27	350.05	591.35	929.17	1363.51	1894.37	279.46	476.56	805.08	1264.99	1856.32	2579.05	353.64	603.08	1018.80	1600.82	2349.13	3263.72
	1.30	2.00	350.05	494.83	736.13	1073.95	1508.29	2039.15	476.56	673.67	1002.18	1462.10	2053.43	2776.16	603.08	852.51	1268.24	1850.25	2598.56	3513.16
	1.30	3.00	591.35	736.13	977.43	1315.25	1749.59	2280.46	805.08	1002.18	1330.70	1790.62	2381.94	3104.67	1018.80	1268.24	1683.96	2265.98	3014.29	3928.88
	1.30	4.00	929.17	1073.95	1315.25	1653.07	2087.42	2618.28	1264.99	1462.10	1790.62	2250.53	2841.86	3564.59	1600.82	1850.25	2265.98	2848.00	3596.30	4510.90
	1.30	5.00	1363.51	1508.29	1749.59	2087.42	2521.76	3052.62	1856.32	2053.43	2381.94	2841.86	3433.18	4155.91	2349.13	2598.56	3014.29	3596.30	4344.61	5259.20
	1.30	6.00	1894.37	2039.15	2280.46	2618.28	3052.62	3583.48	2579.05	2776.16	3104.67	3564.59	4155.91	4878.64	3263.72	3513.16	3928.88	4510.90	5259.20	6173.80
	1.50	1.00	278.42	445.48	723.90	1113.70	1614.86	2227.39	379.05	606.49	985.54	1516.21	2198.51	3032.43	479.68	767.49	1247.18	1918.73	2782.16	3837.46
	1.50	2.00	445.48	612.53	890.96	1280.75	1781.92	2394.45	606.49	833.92	1212.97	1743.65	2425.94	3259.86	767.49	1055.30	1534.99	2206.54	3069.97	4125.27
	1.50	3.00	723.90	890.96	1169.38	1559.18	2060.34	2672.87	985.54	1212.97	1592.03	2122.70	2805.00	3638.92	1247.18	1534.99	2014.67	2686.23	3549.65	4604.96
	1.50	4.00	1113.70	1280.75	1559.18	1948.97	2450.13	3062.67	1516.21	1743.65	2122.70	2653.38	3335.67	4169.59	1918.73	2206.54	2686.23	3357.78	4221.21	5276.51
	1.50	5.00	1614.86	1781.92	2060.34	2450.13	2951.30	3563.83	2198.51	2425.94	2805.00	3335.67	4017.97	4851.89	2782.16	3069.97	3549.65	4221.21	5084.64	6139.94
	1.50	6.00	2227.39	2394.45	2672.87	3062.67	3563.83	4176.36	3032.43	3259.86	3638.92	4169.59	4851.89	5685.81	3837.46	4125.27	4604.96	5276.51	6139.94	7195.25

## D. cinerea

	Verdeur		1						2					
	Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
		Diam. base houp.												
ZONE SPHERIQUE	0.10	1.00	1.00	2.49	4.97	8.44	12.91	18.36	1.98	4.92	9.83	16.70	25.54	36.34
	0.10	2.00	2.49	3.98	6.46	9.93	14.39	19.85	4.92	7.87	12.78	19.65	28.48	39.28
	0.10	3.00	4.97	6.46	8.94	12.41	16.87	22.33	9.83	12.78	17.68	24.56	33.39	44.19
	0.10	4.00	8.44	9.93	12.41	15.88	20.35	25.80	16.70	19.65	24.56	31.43	40.26	51.06
	0.10	5.00	12.91	14.39	16.87	20.35	24.81	30.27	25.54	28.48	33.39	40.26	49.10	59.90
	0.10	6.00	18.36	19.85	22.33	25.80	30.27	35.73	36.34	39.28	44.19	51.06	59.90	70.70
	0.30	1.00	3.16	7.62	15.06	25.48	38.88	55.25	6.24	15.08	29.81	50.42	76.93	109.33
	0.30	2.00	7.62	12.09	19.53	29.95	43.34	59.71	15.08	23.92	38.64	59.26	85.77	118.16
	0.30	3.00	15.06	19.53	26.97	37.39	50.78	67.15	29.81	38.64	53.37	73.98	100.49	132.89
	0.30	4.00	25.48	29.95	37.39	47.81	61.20	77.57	50.42	59.26	73.98	94.60	121.11	153.51
	0.30	5.00	38.88	43.34	50.78	61.20	74.60	90.97	76.93	85.77	100.49	121.11	147.62	180.01
	0.30	6.00	55.25	59.71	67.15	77.57	90.97	107.34	109.33	118.16	132.89	153.51	180.01	212.41
	0.50	1.00	5.79	13.23	25.63	43.00	65.32	92.61	11.45	26.18	50.72	85.09	129.26	183.26
	0.50	2.00	13.23	20.67	33.07	50.44	72.76	100.05	26.18	40.91	65.45	99.81	143.99	197.99
	0.50	3.00	25.63	33.07	45.48	62.84	85.17	112.45	50.72	65.45	89.99	124.36	168.53	222.53
	0.50	4.00	43.00	50.44	62.84	80.20	102.53	129.82	85.09	99.81	124.36	158.72	202.90	256.89
	0.50	5.00	65.32	72.76	85.17	102.53	124.85	152.14	129.26	143.99	168.53	202.90	247.07	301.07
	0.50	6.00	92.61	100.05	112.45	129.82	152.14	179.43	183.26	197.99	222.53	256.89	301.07	355.07
	0.70	1.00	9.21	19.63	37.00	61.31	92.56	130.76	18.23	38.85	73.21	121.32	183.17	258.76
	0.70	2.00	19.63	30.05	47.41	71.72	102.98	141.18	38.85	59.47	93.83	141.93	203.79	279.38
	0.70	3.00	37.00	47.41	64.78	89.09	120.34	158.54	73.21	93.83	128.19	176.30	238.15	313.74
	0.70	4.00	61.31	71.72	89.09	113.40	144.65	182.85	121.32	141.93	176.30	224.40	286.25	361.85
	0.70	5.00	92.56	102.98	120.34	144.65	175.91	214.11	183.17	203.79	238.15	286.25	348.10	423.70
	0.70	6.00	130.76	141.18	158.54	182.85	214.11	252.31	258.76	279.38	313.74	361.85	423.70	499.29

D. cinerea

	Verdeur		1						2					
	Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
		Diam. base houp.												
ZONE SPHERIQUE	0.90	1.00	13.75	27.15	49.47	80.73	120.91	170.03	27.21	53.72	97.90	159.75	239.27	336.47
	0.90	2.00	27.15	40.54	62.87	94.12	134.31	183.42	53.72	80.23	124.41	186.26	265.78	362.97
	0.90	3.00	49.47	62.87	85.19	116.45	156.63	205.75	97.90	124.41	168.59	230.44	309.96	407.15
	0.90	4.00	80.73	94.12	116.45	147.70	187.89	237.00	159.75	186.26	230.44	292.29	371.81	469.00
	0.90	5.00	120.91	134.31	156.63	187.89	228.07	277.19	239.27	265.78	309.96	371.81	451.33	548.52
	0.90	6.00	170.03	183.42	205.75	237.00	277.19	326.30	336.47	362.97	407.15	469.00	548.52	645.72
	1.10	1.00	19.72	36.09	63.38	101.58	150.69	210.72	39.02	71.42	125.42	201.01	298.20	417.00
	1.10	2.00	36.09	52.46	79.75	117.95	167.06	227.09	71.42	103.82	157.81	233.41	330.60	449.39
	1.10	3.00	63.38	79.75	107.03	145.23	194.35	254.38	125.42	157.81	211.81	287.40	384.60	503.39
	1.10	4.00	101.58	117.95	145.23	183.44	232.55	292.58	201.01	233.41	287.40	363.00	460.19	578.98
	1.10	5.00	150.69	167.06	194.35	232.55	281.67	341.69	298.20	330.60	384.60	460.19	557.39	676.18
	1.10	6.00	210.72	227.09	254.38	292.58	341.69	401.72	417.00	449.39	503.39	578.98	676.18	794.97
	1.30	1.00	27.43	46.78	79.03	124.17	182.22	253.16	54.28	92.57	156.39	245.73	360.59	500.98
	1.30	2.00	46.78	66.13	98.38	143.52	201.57	272.51	92.57	130.86	194.67	284.01	398.88	539.27
	1.30	3.00	79.03	98.38	130.62	175.77	233.81	304.76	156.39	194.67	258.49	347.83	462.69	603.08
	1.30	4.00	124.17	143.52	175.77	220.91	278.96	349.90	245.73	284.01	347.83	437.17	552.03	692.42
	1.30	5.00	182.22	201.57	233.81	278.96	337.00	407.95	360.59	398.88	462.69	552.03	666.90	807.29
	1.30	6.00	253.16	272.51	304.76	349.90	407.95	478.89	500.98	539.27	603.08	692.42	807.29	947.68
	1.50	1.00	37.21	59.53	96.74	148.83	215.81	297.67	73.63	117.81	191.44	294.53	427.06	589.05
	1.50	2.00	59.53	81.86	119.07	171.16	238.13	319.99	117.81	161.99	235.62	338.70	471.24	633.23
	1.50	3.00	96.74	119.07	156.27	208.37	275.34	357.20	191.44	235.62	309.25	412.34	544.87	706.86
	1.50	4.00	148.83	171.16	208.37	260.46	327.43	409.29	294.53	338.70	412.34	515.42	647.96	809.94
	1.50	5.00	215.81	238.13	275.34	327.43	394.41	476.27	427.06	471.24	544.87	647.96	780.49	942.48
	1.50	6.00	297.67	319.99	357.20	409.29	476.27	558.12	589.05	633.23	706.86	809.94	942.48	1104.47

D. cinerea

	Verdeur		3						4						5					
	Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
		Diam. base houp.																		
ZONE SPHERIQUE	0.10	1.00	2.95	7.36	14.69	24.97	38.17	54.31	3.93	9.79	19.56	33.23	50.80	72.29	4.91	12.23	24.42	41.49	63.44	90.26
	0.10	2.00	7.36	11.76	19.10	29.37	42.57	58.72	9.79	15.65	25.42	39.09	56.66	78.15	12.23	19.54	31.74	48.81	70.75	97.58
	0.10	3.00	14.69	19.10	26.43	36.70	49.91	66.05	19.56	25.42	35.18	48.85	66.43	87.91	24.42	31.74	43.93	61.00	82.95	109.77
	0.10	4.00	24.97	29.37	36.70	46.98	60.18	76.32	33.23	39.09	48.85	62.52	80.10	101.58	41.49	48.81	61.00	78.07	100.02	126.84
	0.10	5.00	38.17	42.57	49.91	60.18	73.39	89.53	50.80	56.66	66.43	80.10	97.68	119.16	63.44	70.75	82.95	100.02	121.97	148.79
	0.10	6.00	54.31	58.72	66.05	76.32	89.53	105.67	72.29	78.15	87.91	101.58	119.16	140.64	90.26	97.58	109.77	126.84	148.79	175.62
	0.30	1.00	9.33	22.54	44.55	75.37	114.98	163.41	12.42	30.00	59.29	100.31	153.04	217.49	15.51	37.46	74.04	125.25	191.09	271.57
	0.30	2.00	22.54	35.75	57.76	88.57	128.19	176.61	30.00	47.58	76.87	117.88	170.62	235.07	37.46	59.41	95.99	147.20	213.04	293.52
	0.30	3.00	44.55	57.76	79.77	110.58	150.20	198.63	59.29	76.87	106.17	147.18	199.91	264.36	74.04	95.99	132.57	183.78	249.62	330.10
	0.30	4.00	75.37	88.57	110.58	141.40	181.02	229.44	100.31	117.88	147.18	188.19	240.93	305.38	125.25	147.20	183.78	234.99	300.83	381.31
	0.30	5.00	114.98	128.19	150.20	181.02	220.64	269.06	153.04	170.62	199.91	240.93	293.66	358.11	191.09	213.04	249.62	300.83	366.68	447.15
	0.30	6.00	163.41	176.61	198.63	229.44	269.06	317.48	217.49	235.07	264.36	305.38	358.11	422.56	271.57	293.52	330.10	381.31	447.15	527.63
	0.50	1.00	17.12	39.13	75.82	127.17	193.21	273.91	22.79	52.08	100.91	169.26	257.15	364.57	28.45	65.03	126.00	211.35	321.09	455.22
	0.50	2.00	39.13	61.14	97.83	149.18	215.22	295.92	52.08	81.38	130.20	198.56	286.44	393.86	65.03	101.61	162.58	247.93	357.67	491.80
	0.50	3.00	75.82	97.83	134.51	185.87	251.90	332.61	100.91	130.20	179.03	247.38	335.27	442.69	126.00	162.58	223.54	308.90	418.64	552.76
	0.50	4.00	127.17	149.18	185.87	237.23	303.26	383.97	169.26	198.56	247.38	315.74	403.63	511.04	211.35	247.93	308.90	394.25	503.99	638.12
	0.50	5.00	193.21	215.22	251.90	303.26	369.29	450.00	257.15	286.44	335.27	403.63	491.51	598.93	321.09	357.67	418.64	503.99	613.73	747.86
	0.50	6.00	273.91	295.92	332.61	383.97	450.00	530.71	364.57	393.86	442.69	511.04	598.93	706.35	455.22	491.80	552.76	638.12	747.86	881.98
	0.70	1.00	27.25	58.07	109.43	181.33	273.78	386.76	36.27	77.29	145.64	241.34	364.38	514.77	45.29	96.51	181.86	301.35	454.99	642.77
	0.70	2.00	58.07	88.88	140.24	212.15	304.59	417.58	77.29	118.30	186.66	282.36	405.40	555.78	96.51	147.72	233.07	352.57	506.20	693.98
	0.70	3.00	109.43	140.24	191.60	263.50	355.95	468.94	145.64	186.66	255.01	350.71	473.75	624.14	181.86	233.07	318.42	437.92	591.56	779.33
	0.70	4.00	181.33	212.15	263.50	335.41	427.85	540.84	241.34	282.36	350.71	446.41	569.45	719.83	301.35	352.57	437.92	557.41	711.05	898.83
	0.70	5.00	273.78	304.59	355.95	427.85	520.30	633.29	364.38	405.40	473.75	569.45	692.49	842.87	454.99	506.20	591.56	711.05	864.69	1052.46
	0.70	6.00	386.76	417.58	468.94	540.84	633.29	746.27	514.77	555.78	624.14	719.83	842.87	993.26	642.77	693.98	779.33	898.83	1052.46	1240.24

D. cinerea

	Verdeur		3						4						5					
	Hcan.	Diam. 1,5m	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
		Diam. base houp.																		
ZONE SPHERIQUE	0.90	1.00	40.68	80.30	146.33	238.77	357.63	502.90	54.14	106.87	194.76	317.80	475.99	669.34	67.60	133.44	243.18	396.82	594.35	835.78
	0.90	2.00	80.30	119.92	185.95	278.39	397.25	542.52	106.87	159.60	247.49	370.53	528.72	722.07	133.44	199.29	309.03	462.66	660.20	901.62
	0.90	3.00	146.33	185.95	251.98	344.43	463.28	608.56	194.76	247.49	335.37	458.41	616.61	809.96	243.18	309.03	418.77	572.40	769.94	1011.36
	0.90	4.00	238.77	278.39	344.43	436.87	555.73	701.00	317.80	370.53	458.41	581.46	739.65	933.00	396.82	462.66	572.40	726.04	923.57	1165.00
	0.90	5.00	357.63	397.25	463.28	555.73	674.59	819.86	475.99	528.72	616.61	739.65	897.85	1091.20	594.35	660.20	769.94	923.57	1121.10	1362.53
	0.90	6.00	502.90	542.52	608.56	701.00	819.86	965.13	669.34	722.07	809.96	933.00	1091.20	1284.55	835.78	901.62	1011.36	1165.00	1362.53	1603.96
	1.10	1.00	58.32	106.75	187.45	300.44	445.71	623.27	77.63	142.08	249.49	399.88	593.23	829.54	96.93	177.40	311.53	499.31	740.74	1035.82
	1.10	2.00	106.75	155.17	235.88	348.87	494.14	671.69	142.08	206.53	313.94	464.33	657.68	893.99	177.40	257.88	392.01	579.78	821.21	1116.29
	1.10	3.00	187.45	235.88	316.58	429.57	574.84	752.40	249.49	313.94	421.36	571.74	765.09	1001.41	311.53	392.01	526.13	713.91	955.34	1250.42
	1.10	4.00	300.44	348.87	429.57	542.56	687.83	865.39	399.88	464.33	571.74	722.13	915.48	1151.79	499.31	579.78	713.91	901.69	1143.12	1438.20
	1.10	5.00	445.71	494.14	574.84	687.83	833.11	1010.66	593.23	657.68	765.09	915.48	1108.83	1345.14	740.74	821.21	955.34	1143.12	1384.55	1679.62
	1.10	6.00	623.27	671.69	752.40	865.39	1010.66	1188.21	829.54	893.99	1001.41	1151.79	1345.14	1581.46	1035.82	1116.29	1250.42	1438.20	1679.62	1974.70
	1.30	1.00	81.14	138.37	233.75	367.28	538.96	748.80	107.99	184.16	311.10	488.83	717.33	996.62	134.84	229.95	388.46	610.38	895.71	1244.44
	1.30	2.00	138.37	195.59	290.97	424.51	596.19	806.03	184.16	260.33	387.27	565.00	793.50	1072.79	229.95	325.06	483.57	705.49	990.81	1339.54
	1.30	3.00	233.75	290.97	386.35	519.89	691.57	901.41	311.10	387.27	514.22	691.94	920.45	1199.73	388.46	483.57	642.08	864.00	1149.33	1498.06
	1.30	4.00	367.28	424.51	519.89	653.42	825.10	1034.94	488.83	565.00	691.94	869.67	1098.17	1377.46	610.38	705.49	864.00	1085.92	1371.25	1719.98
	1.30	5.00	538.96	596.19	691.57	825.10	996.79	1206.62	717.33	793.50	920.45	1098.17	1326.68	1605.96	895.71	990.81	1149.33	1371.25	1656.57	2005.30
	1.30	6.00	748.80	806.03	901.41	1034.94	1206.62	1416.46	996.62	1072.79	1199.73	1377.46	1605.96	1885.24	1244.44	1339.54	1498.06	1719.98	2005.30	2354.03
	1.50	1.00	110.05	176.09	286.14	440.22	638.31	880.43	146.48	234.36	380.84	585.91	849.57	1171.82	182.90	292.64	475.54	731.60	1060.82	1463.20
	1.50	2.00	176.09	242.12	352.17	506.25	704.35	946.47	234.36	322.25	468.73	673.79	937.45	1259.70	292.64	402.38	585.28	841.34	1170.56	1572.94
	1.50	3.00	286.14	352.17	462.23	616.30	814.40	1056.52	380.84	468.73	615.20	820.27	1083.93	1406.18	475.54	585.28	768.18	1024.24	1353.46	1755.84
	1.50	4.00	440.22	506.25	616.30	770.38	968.48	1210.60	585.91	673.79	820.27	1025.34	1289.00	1611.25	731.60	841.34	1024.24	1280.30	1609.52	2011.90
	1.50	5.00	638.31	704.35	814.40	968.48	1166.57	1408.69	849.57	937.45	1083.93	1289.00	1552.66	1874.91	1060.82	1170.56	1353.46	1609.52	1938.74	2341.12
	1.50	6.00	880.43	946.47	1056.52	1210.60	1408.69	1650.81	1171.82	1259.70	1406.18	1611.25	1874.91	2197.16	1463.20	1572.94	1755.84	2011.90	2341.12	2743.50